

**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LAS
ARCILLAS BENTONÍTICAS PROVENIENTES DE BUGALAGRANDE, VALLE
DEL CAUCA, COLOMBIA CON ADICIÓN DE DIATOMEAS DE LA CIUDAD DE
MÉXICO, MÉXICO.**

**ANGIE ALEJANDRA MOSQUERA FALLA
LEIDY ALEJANDRA LEON ORDOÑEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2018**

**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE LAS
ARCILLAS BENTONÍTICAS PROVENIENTES DE BUGALAGRANDE, VALLE
DEL CAUCA, COLOMBIA CON ADICIÓN DE DIATOMEAS DE LA CIUDAD DE
MÉXICO, MÉXICO.**

**ANGIE ALEJANDRA MOSQUERA FALLA
LEIDY ALEJANDRA LEON ORDOÑEZ**

**Proyecto de grado para optar por el título de
Ingeniero civil**

**DIRECTOR
JAVIER GARCIA GUERRERO
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2018**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, 26 de noviembre de 2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme culminar este proceso de mi formación profesional; a mi padre, Guillermo León Ordoñez, por demostrarme el valor de la familia y de quien guardo en mi corazón su amor, protección, cariño y sabios consejos, junto a su legado; a mi madre, Luz Mery Ordoñez, quien ha sido mi apoyo en todo momento, ha creído en mí y me ha llenado de fortaleza, paciencia y amor. A mis hermanos: Paola, Yeimi, Juan Guillermo, Cesar Andres y Monica Julieth, por su ejemplo, amor y motivación. A mis abuelos, tías, primos, padrinos, sobrino, amigos y a todas aquellas personas que me ayudaron, creyeron y aportaron conocimiento para cumplir mi objetivo. A ustedes mi más sincero agradecimiento.

Leidy Leon Ordoñez

A Dios, porque gracias a él he logrado concluir mi carrera; a mis padres, Ada Alexandra Falla y John Mosquera, por su esfuerzo, dedicación y amor; porque siempre creyeron en mis capacidades, por brindarme la oportunidad de culminar este proyecto profesional y por hacer de mí cada día una mejor persona. A mi familia y amigos por su apoyo y contribución para cumplir mis objetivos.

Angie Mosquera Falla

AGRADECIMIENTOS

La investigación se realizó con la supervisión del Ingeniero Javier García Guerrero, agradecemos su tiempo, dedicación y exigencia en la realización de este proyecto.

Agradecemos a Carlos José Slebi Acevedo por su acertada orientación, respecto a la definición de las temáticas para la investigación; también por su colaboración y guía para la aprobación del anteproyecto.

De manera especial, agradecimientos al ingeniero Abraham Díaz Rodríguez, por su recibimiento en la Universidad Nacional Autónoma de México, quien fue una guía para la realización de la investigación y quien nos otorgó bibliografía propia.

Agradecemos a la Universidad Católica de Colombia, Facultad de ingeniería, a sus docentes que durante cinco años nos formaron de manera disciplinada e integral como ingenieras civiles.

De igual manera, expresamos agradecimientos al semillero de investigación Geociencias, de la universidad Católica de Colombia por su motivación en la formación de investigación.

Al personal de laboratorios de la universidad, especialmente, al laboratorista César Augusto Prada, por su colaboración y guía durante las prácticas.

A nuestros compañeros y futuros colegas que nos brindaron su colaboración y conocimiento para la culminación de este proyecto.

Expresamos un agradecimiento a Ada Falla, por tomarse el tiempo de realizar la corrección y estilo ortográfico del trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	17
2. ANTECEDENTES	18
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
4. OBJETIVOS	22
5. JUSTIFICACIÓN	23
6. DELIMITACIÓN	25
6.1 ALCANCE	25
6.2 LIMITACIÓN	25
7. MARCO DE REFERENCIA.....	26
7.1 MARCO CONCEPTUAL.....	26
7.1.1 BENTONITA.....	26
7.1.2 DIATOMEAS	28
7.2 MARCO NORMATIVO.....	29
7.3 ESTADO DEL ARTE	32
8. METODOLOGÍA	36
8.1 INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	36
8.1.1 Misión técnica internacional al país de México	36
8.1.2 Realización del estado del arte	36
8.1.3 Dosificaciones	37
8.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	37
8.2.1 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	38
8.2.2 La gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua.	42
8.2.3 Determinación del límite líquido de los suelos.....	45
8.2.4. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	48
8.2.5 Consolidación unidimensional de los suelos	50
8.2.6 Compresión inconfiada en muestras de suelos.....	56
8.2.7 Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada.....	59

8.2 INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	62
8.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
9. RESULTADOS.....	63
9.1 DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS.....	63
9.2 LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DE LA LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA.	66
9.3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS.....	67
9.4 LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS.....	68
9.5 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS	68
9.6 COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS	72
9.7 ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA	76
10. ANALISIS DE RESULTADOS.....	78
11. CONCLUSIONES	85
12. RECOMENDACIONES.....	87
13. REFERENCIAS	88
14. ANEXOS	93

TABLA FIGURAS

Figura 1. Bentonita humedad natural.....	27
Figura 2. Diatomeas humedad natural.....	29
Figura 3. Cantidad de material.....	38
Figura 4. Muestras saturando	39
Figura 5. Muestra en el agitador	39
Figura 6. Espécimen con agua destilada	40
Figura 7. Probetas en baño de maría	40
Figura 8. Calibración del picnómetro	42
Figura 9. Material dentro del picnómetro	43
Figura 10. Máquina de extracción de vacíos	43
Figura 11. Formación de la pasta de bentonita.....	46
Figura 12. Cazuela con la muestra de bentonita.....	46
Figura 13. Separación de la muestra	47
Figura 14. Golpes a la cazuela	47
Figura 15. Bentonita húmeda.....	49
Figura 16. Rollos formados para límite plástico	49
Figura 17. Registro del peso de los rollos.....	50
Figura 18. Muestra de bentonita en el anillo de consolidación	51
Figura 19. Cámara de consolidación	52
Figura 20. Aparato de consolidación.....	52
Figura 21. Muestra cilíndrica.....	57
Figura 22. Aparato de compresión con bentonita	57
Figura 23. Muestra ensayada con fallas visibles.....	58
Figura 24. Bentonita en el dispositivo de corte directo.....	60
Figura 25. Dispositivo corte directo.....	61
Figura 26. Falla de la bentonita.....	73
Figura 27. Falla de la bentonita con 15% de diatomea	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Marco normativo	30
Tabla 2 Dosificaciones	37
Tabla 3. Profundidad tomada por el hidrómetro	63
Tabla 4. Diámetro de las partículas	64
Tabla 5. Porcentaje de partículas a la profundidad dada	64
Tabla 6. Cálculo gravedad específica	67
Tabla 7 Límite líquido	67
Tabla 8 Límite plástico	68
Tabla 9 Índice de plasticidad	68
Tabla 10. Datos obtenidos de consolidación unidimensional	69
Tabla 11. Cálculos compresión de bentonita	72
Tabla 12. Cálculos compresión con 15% de diatomea	74
Tabla 13. Resultados corte directo	76
Tabla 14. Características de la densidad de los suelos	79

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Hidrometría de bentonita con 15% de diatomea	65
Gráfica 2. Hidrometría con bentonita	66
Gráfica 3. Consolidación de bentonita con 15% de diatomea	71
Gráfica 4 Consolidación con 0% de diatomea	71
Gráfica 5. Compresión de bentonita	73
Gráfica 6 Compresión de la bentonita con 15% de diatomea	75
Gráfica 7. Corte directo de la bentonita	77
Gráfica 8. Corte directo bentonita con 15% de diatomea	77
Gráfica 9. Hidrometría de bentonita con diferentes adiciones de diatomea	78
Gráfica 10. Límite líquido con bentonita con diferentes adiciones de diatomea	80
Gráfica 11. Carta de plasticidad de Casagrande	81
Gráfica 12. Consolidación unidimensional de la bentonita con adiciones de diatomea	82
Gráfica 13. Corte directo de la bentonita con adiciones de diatomea	83
Gráfica 14. Compresión inconfiada de la bentonita con adiciones de diatomea ..	84

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica bentonita	93
Anexo 2. Profundidad efectiva para hidrometría	94
Anexo 3. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas.....	95
Anexo 4. Valores del factor de corrección (a) para diferentes Gs de las partículas de suelo	95
Anexo 5. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura	96
Anexo 6. Bitácora hidrometría.....	97
Anexo 7. Dosificaciones con 50 g de material	98
Anexo 8. Factor de corrección a y constante K	98
Anexo 9. Gráficas de hidrometría de bentonita con adiciones de diatomea	99
Anexo 10. Bitácora ensayo gravedad específica	101
Anexo 11. Calibración de los picnómetros	102
Anexo 12. Bitácora límite líquido.....	103
Anexo 13. Gráficas del límite líquido de bentonita con adiciones de diatomea ...	104
Anexo 14. Bitácora límite plástico de bentonita con adición de diatomeas.....	106
Anexo 15. Dimensiones del anillo	107
Anexo 16 Datos de consolidación de bentonita con adición de diatomea	107
Anexo 17. Gráficas de consolidación de bentonita con adición de diatomea	108
Anexo 18. Datos graficas e ilustraciones de compresión de bentonita con diatomea	114
Anexo 19 Dimensiones del anillo	126
Anexo 20 Datos ensayo corte directo	126
Anexo 21. Gráficas corte directo.....	145

GLOSARIO

ARCILLA: Es un grupo de minerales perteneciente al grupo de los filosilicatos, cuyas propiedades fisicoquímicas dependen de su estructura cristalina, de su composición química y el tamaño de grano (inferior a 2 mm).¹

BENTONITA: Es un tipo de mineral de grano muy fino, la presencia de montmorillonita proporciona características favorables, como una alta capacidad de retención, baja conductividad hidráulica y alta resistencia térmica.²

COMPRESIÓN: Es la disminución del volumen de los poros, causado por la aplicación de una fuerza que actúa sobre él. En suelos saturados la compresión ocurre solamente si se presenta drenaje de agua.³

CONSOLIDACIÓN: Es la reducción gradual de volumen del suelo por compresión debido a la aplicación de cargas estáticas, también puede darse por pérdida de aire o agua.⁴

DOSIFICACIÓN: Es la cantidad o porción de material que se adiciona al suelo, el cual se va a estudiar o comparar, de manera que se puedan evidenciar y evaluar las variaciones.

DIATOMEAS: Las diatomeas son un tipo de algas, que se caracterizan porque sus células están rodeadas de una pared celular llamada frústula, están formadas por nano partículas de sílice, recubiertas por matrices que contienen carbohidratos y proteínas. Usualmente de color blanco.⁵

GEOTECNIA: Aplicación de los métodos científicos y los principios de la ingeniería a la adquisición, la interpretación y el conocimiento de los materiales de la corteza terrestre, orientados a la solución de los problemas de ingeniería⁶.

¹ GARCÍA, Emilia; SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca 3 p.

² YAMON Gapak, GEETANJALI Das, *et al.* 2016. Laboratory determination of volumetric shrinkage behavior of bentonites: A critical appraisal. En: Applied Clay Science. October 2016. 13p.

³ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014. 163 p.

⁴ DUQUE, Gonzalo. Manual de Geología para Ingenieros. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 2017. 139 p.

⁵ COLÍN GARCÍA, Maria, *et al.* Sílice de las algas diatomeas (clase bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. En: La Granja, Revista de Ciencias de la Vida. (Feb. 2013)

⁶ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C., 2003. p. 77

GRANULOMETRÍA: Es un ensayo de laboratorio que determina y clasifica las partículas según su tamaño, a partir de la sedimentación.⁷

GRAVEDAD ESPECÍFICA: Es una relación entre el peso unitario de sólidos y el peso unitario del agua.⁸

HINCHAMIENTO Es la adsorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas.⁹

ÍNDICE DE PLASTICIDAD: Es la diferencia entre los contenidos de humedad del límite líquido y el límite plástico.¹⁰

LÍMITES DE ATTERBERG: Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos dependiendo del contenido de agua del suelo, pueden aparecer en cinco estados, sólido, semisólido, plástico, semilíquido o líquido.¹¹

LÍMITE LÍQUIDO: Es el contenido de humedad requerido para que una muestra de suelo, en la cazuela de Casagrande, cierre una ranura de 1/2" de amplitud, a los 25 golpes generados en la cápsula de bronce.¹²

LÍMITE PLÁSTICO: Se determina rolando una porción de suelo hasta que este alcance un diámetro de 3mm, si con ese diámetro se empieza a romper en pedazos, se dice que llegó a su límite plástico.¹³

MEZCLA: Técnica que consiste en combinar dos o más suelos de diferentes propiedades fisicoquímicas con el objetivo de lograr una única capa de suelo

⁷ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS-INVIAS. Sección 100 Suelos. INV E-123. 2013. 798p.

⁸ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014. 22 p.

⁹ GARCÍA, Emilia; SUÁREZ Mercedes. Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 10 p.

¹⁰ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014. 41 p.

¹¹ SALAMANCA, Dania y AHUMADA, Víctor. Evaluación de los parámetros de consolidación con grandes deformaciones en función de las propiedades índices de los suelos de baja plasticidad. Cartagena, 2013. 109p. Trabajo de Investigación (Optar para el título de Ingeniero Civil), Universidad de Cartagena. Facultad de Ciencias e Ingeniería. 24 p.

¹² SALAMANCA, Dania y AHUMADA, Víctor. Evaluación de los parámetros de consolidación con grandes deformaciones en función de las propiedades índices de los suelos de baja plasticidad. Cartagena, 2013. 109p. Trabajo de Investigación (Ingeniero Civil), Universidad de Cartagena. Facultad de Ciencias e Ingeniería. 25 p.

¹³ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014. 41 p.

resultante cuyas propiedades geotécnicas sea mejores que las de los suelos combinados.¹⁴

MINA: Formación o criadero de minerales o de materias fósiles, útil y aprovechable económicamente, ya se encuentre en el suelo o el subsuelo. Yacimiento mineral y conjunto de labores, instalaciones y equipos que permiten su explotación racional¹⁵.

RESISTENCIA AL ESFUERZO: Determina la estabilidad del suelo al soportar una carga, interviene en los problemas de estabilidad, como capacidad de carga de una cimentación, el empuje lateral sobre un muro de retención o la estabilidad de taludes y terraplenes.¹⁶

SUELO: Se extiende tanto en superficie como en profundidad; consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie. Cada uno de los horizontes del suelo tiene distintas propiedades físicas y químicas, lo que se refleja en su aspecto. Al conjunto de horizontes de un suelo se le llama perfil.¹⁷

TIXOTROPÍA: Se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo.¹⁸

YACIMIENTO: Es una acumulación natural de una sustancia mineral o fósil, cuya concentración excede el contenido normal de una sustancia en la corteza terrestre (que se encuentra en el subsuelo o en la superficie terrestre) y cuyo volumen es tal que resulta interesante desde el punto de vista económico, utilizable como materia prima o como fuente de energía¹⁹.

¹⁴ MENDIZABAL, Mauricio. Mejoramiento de suelos Escuela Militar de Ingeniería. [en línea] 2014. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/236823111/Mejoramiento-de-Suelos>

¹⁵ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., p. 106

¹⁶ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Op.Cit., 207 p.

¹⁷ SEMANA DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS INIA. (2015, Tacuarembó) Semana de la Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria. 19 Pags.

¹⁸ GARCÍA, Emilia; SUÁREZ Mercedes. Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca 11 p.

¹⁷ GARCÍA, Emilia y SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 25p.

¹⁹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., p. 166

INTRODUCCIÓN

La presente investigación contrasta la acción de las diatomeas como componente de mejora al suelo arcilloso, utilizando su adición a la bentonita o el efecto de esta última sin exponerse a mezclas. La propuesta surgió debido a la asistencia a la Misión académica internacional al país de México, organizada por la universidad católica, de la cual participaron estudiantes del área de ingeniería; con el objetivo de fortalecer los lazos internacionales de la Facultad y el aprendizaje de los alumnos por medio de visitas a universidades y empresas de éste país.

Teniendo en cuenta que los suelos arcillosos tienen la capacidad de modificar su volumen en presencia de agua, se provocan problemas de tipo ingenieril en las estructuras, tales problemas suelen ser asentamiento o hinchamiento, de acuerdo a esto los ingenieros civiles están en la tarea de buscar soluciones para modificar características del suelo y mejorar la capacidad portante de las arcillas.²⁰

Por tal motivo, esta investigación compara el comportamiento físico-mecánico de las arcillas bentoníticas provenientes de Bugalagrande, Valle del Cauca (Colombia) con adición de diatomeas de la Ciudad de México (México), estableciendo las posibles ventajas y desventajas que se pueden obtener al aplicarlas.

Para cumplir con los objetivos, se identificaron los materiales a utilizar, para lo cual, se obtienen muestras de las diatomeas de la ciudad de México y bentonita de suelo colombiano; se llevaron a laboratorios de caracterización y de resistencia, que permitieron estudiar los cambios de esta arcilla expansible, presididos por las normas y especificaciones de Invias.

De acuerdo a las especificaciones de la norma Invias, se realizaron siete laboratorios con 13 dosificaciones de diatomeas las cuales están desde el 0,5% al 15% y una muestra de únicamente bentonita como base preliminar para evidenciar los cambios a los que se exponen los materiales. El primer laboratorio permite identificar el tamaño de las partículas; el segundo determina la gravedad específica; el tercero el límite líquido de los suelos; el cuarto el límite plástico e índice de plasticidad; el quinto la consolidación unidimensional de los suelos; el sexto la compresión inconfiada en las muestras y por último se realiza el ensayo de corte directo en condición consolidada, como lo exige la norma y de esta forma comparar la reacción al mezclar los materiales y asimismo, la reacción al no unificarse.

²⁰ GARCÍA, Emilia y SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 25p.

Los resultados de estas pruebas permitieron establecer la comparación del uso de las diatomeas en bentonita frente a la bentonita sola, sin embargo, existieron limitantes, como, la dificultad de reconocer el lugar geológico en donde fueron extraídas las diatomeas; además, la cantidad no fue suficiente para realizar la caracterización físico-mecánica de las mismas.

El lector encontrará en este artículo un capítulo dedicado a describir el referente teórico conceptual que constituye un acercamiento desde investigaciones anteriores sobre los materiales utilizados, así como, la normatividad para suelos en Colombia, posteriormente, los laboratorios realizados para establecer la comparación de la mezcla o unidad de los materiales como la metodología mediante la cual se realizará la comparación y por último la conclusión frente a los resultados obtenidos.

1. GENERALIDADES

“La bentonita es un mineral de arcilla que proviene de la meteorización de rocas ígneas y de material volcánico; es expansible y sufre cambios de volumen al agregarle agua.”²¹ En Colombia hay yacimientos en Tolima, Caldas, y Valle del Cauca; su uso es principalmente para estabilización de túneles, excavaciones e impermeabilizante, debido a que absorbe la humedad del terreno y puede prevenir problemas de tipo ingenieril como lo son los derrumbes y deslizamientos.²²

Las diatomeas son algas que en su pared celular frústula tienen partículas de sílice, hay alrededor de 2000 especies y yacimientos.²³ En México se encuentra en los Estados de Jalisco, México, Tlaxcala, Hidalgo, Michoacán y Baja California, se usa para mejorar características y propiedades del suelo, también para aumentar la vida y resistencia de cementos y asfaltos.²⁴

Con lo anterior, se identifica que hay varios usos e investigaciones de los dos materiales a emplear; sin embargo, los estudios en geotecnia han evaluado hasta ahora el comportamiento de bentonitas con adición de cal, aceites y cenizas volátiles²⁵, en contraste los estudios de diatomeas se han enfocado en caolín²⁶, sin embargo, la evaluación del comportamiento físico-mecánico con diatomeas no ha sido evaluado.

²¹ GARCÍA, Emilia; SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca 10 p.

²² CAMACHO, Jaime y CELADA, Carlos. Definición de Zonas Potenciales para Esmeclitas en los Departamentos del Valle del Cauca, Tolima y Caldas. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Geología y Energía, 2004.

²³ RAMÍREZ, José. Evaluación Geológica de Diatomitas en la Cuenca Ayacucho y sus Implicancias Económicas. Lima, 2012, 117 Pags. Trabajo de Investigación (Profesional de Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.

²⁴ DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Diatomita. México. Coordinación General de Minería, 2013.

²⁵ CAMACHO, Javier Fernando; *et al.* Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. En: Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 16. Número 2. (Dic, 2006)

²⁶ CAICEDO, B; ZULUAGA y D and SLEBI C. Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species. Bogotá D.C.: 2016.

1. ANTECEDENTES

Se utilizó la arcilla bentonita de procedencia colombiana de Bugalagrande, Valle del Cauca para realizar el estudio de compuestos biodegradables, por medio de diferentes pruebas donde se eligieron las muestras, luego se modificaron y por último se caracterizaron, de esta manera se evidenciaron los cambios que genera cuando se agrega dicha arcilla a estos compuestos de acuerdo a esos resultados; obtuvieron que existe la posibilidad de obtener materiales biodegradables de la bentonita modificada con quitosano en materiales biodegradables.²⁷

La bentonita tiene propiedades eléctricas, también sirve como conductora de energía, lo que permite una ayuda en la obtención de materiales compuestos, a través de la incorporación de diferentes materias primas para obtener características de cada uno, teniendo en cuenta, que propiedades individuales hacen parte del material final.²⁸

Debido a que la calidad del agua es un determinante para la salud, se realizaron investigaciones, de cómo la bentonita es un agente ayudante en la remoción de fenoles presentes en las aguas residuales, bajo un análisis que tiene un grado de confiabilidad en la correlación de datos; lo que significa que, la bentonita ayuda a estabilizar y disminuir los contenidos de fenoles.²⁹

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que la bentonita se ha utilizado para prevenir o disminuir el deterioro de los recursos naturales, logrando disminuir emisiones contaminantes, también se ha evidenciado su uso en materiales nanoestructurados.

²⁷ NEIRA, Gustavo; PINILLA, Alirio y HENAO, José. Arcilla Bentonítica modificada con quitosano para materiales compuestos biodegradables. Universidad Industrial de Santander. [En línea] 2011. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/27864/2/25763-162747-1-PB.html>

²⁸ CARRIAZO, J; TORRES, J y ENSUNCHO, A. Estudio de la intercalación de polianilina en minerales de arcilla para formar materiales micro-compuestos. En: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica Vol 15. Número 2. (2012). 481-489 Págs.

²⁹ LARGO, Diana y VILLAMARIN, Katherine. Caracterización y activación química de arcilla tipo bentonita para su evaluación en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales. Pereira. 2013. Trabajo de grado (Química Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías.

La arcilla bentonita es expansiva, para mitigar ese problema se han realizado estudios donde se adiciona cal, ceniza o acetites en diferentes dosificaciones realizando pruebas de laboratorio para caracterizar de forma física y mecánica las muestras, evidenciando la bentonita es una alternativa en ese tratamiento.³⁰

Por otro lado, se estudian las diatomeas, para identificar sus usos e investigaciones en suelos. Para empezar se analizó el estudio de un yacimiento de diatomita de Loma Larga, Alcatlán (Estado de Hidalgo, México), se logró evaluar las aplicaciones que pueden tener las diatomeas, para ello fue importante realizar la caracterización de los tipos de elementos que la componen, también se tuvieron que definir las propiedades físicas como lo son el tamaño de poro y partículas, de lo cual se obtuvo que sirven en la implementación de filtros, procesos de lavado en seco y químicos, también funcionan en la producción de azúcar.³¹

El sílice de las diatomeas se ha estudiado en la nanotecnología, se estima que el 25% de fijación de carbono se debe a las diatomeas, estas pueden ser usadas como indicadores paleoambientales y son capaces de crear estructuras ordenadas, por lo cual, se ha querido sintetizar materiales que sean semejantes a estos, debido a que los materiales derivados del silicio tienen importancia en la cerámica, electrónica y mecánica, por lo tanto, las reconocieron por la estructura biológica que forman, lo cual abrió la posibilidad de diseñar materiales nano con propiedades de la estructura de las diatomeas, que hasta entonces no se habían realizado.³²

El uso de diatomeas se ha realizado para la producción de proteínas y el tratamiento de aguas residuales, también como alimento de organismos acuáticos, lo cual ha demostrado que son alimentos que pueden sustituir los alimentos artificiales, esto se logró con un estudio en centros productivos, por lo tanto, se evidencio que tienen un alto valor nutricional.³³

Puesto que, se demostró el contenido de contaminantes a partir de la acumulación de gases como el metanol, azufre y nitrógeno producidos por la quema de combustibles fósiles, se demostró que las diatomeas por su valor nutricional pueden ayudar con el cuidado del medio ambiente, por ende, ayuda a mantener la salud de

³⁰ CAMACHO, Javier Fernando; *et al.* Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. En: Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 16. Número 2. (Dic, 2006)

³¹ BORGEL, Iván. Caracterización del yacimiento de diatomita de Loma Larga, municipio de Alcatlán, Hidalgo y evaluación de sus aplicaciones alternas. Hidalgo. 2007. Trabajo de Investigación (Ingeniero minero – metalúrgico). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área académica de Materiales y Metalurgia.

³² COLÍN GARCÍA, María, *et al.* Sílice de las algas diatomeas (clase bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. En: La Granja, Revista de Ciencias de la Vida. (Feb. 2013)

³³ LEAL, Sylvia; *et al.* La Diatomeas Bentónicas como fuente de alimento en el cultivo larvario de Camarón y otros Organismos Acuáticos. Monterrey, México. 2010.

las personas, teniendo en cuenta, que estas contienen lípidos y estos pueden ayudar la transformación de biodiesel gracias a su composición bioquímica y de los factores, tales como, luz, salinidad, PH y temperatura. ³⁴

Reconociendo la composición química y física de las diatomeas se evidencio el rendimiento que logra tener una diatomea, respecto a sus usos, por ejemplo, hay diatomeas que son más efectivas en la los abonos e insecticidas, como hay otras que mejoran el rendimiento de plantas y cultivos, estas también pueden accionar contra el control de plagas y radiación solar.³⁵

³⁴ FERNÁNDEZ LINARES, Luis Carlos; *et al.* Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas. En: Ra Ximhai. Vol 8. Número 3. (2012). 15 págs.

³⁵ BORGEL, Iván. Caracterización del yacimiento de diatomita de Loma Larga, municipio de Alcatlán, Hidalgo y evaluación de sus aplicaciones alternas. Hidalgo. 2007. Trabajo de Investigación (Ingeniero minero – metalúrgico). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área académica de Materiales y Metalúrgia.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México y en Bogotá se encuentra un suelo blando arcilloso bentonita tipo montmorillonita, la cual tiene como característica ser una arcilla expansiva. Por esta razón, el suelo presenta asentamientos ya que la arcilla al expandirse y contraerse provoca cambios en el volumen del suelo produciendo afectaciones.³⁶

En la ciudad de México se encuentran dos tipos de suelos en una zona es rígido y en otra es blando; por esta razón, en diferentes lugares de la ciudad se pueden observar desniveles, ya que solo una parte del suelo se asienta y provoca hundimientos de hasta 30 cm por año en algunas zonas de área metropolitana.³⁷

Debido a lo anterior, en México se han realizado estudios entre el suelo arcilloso y las diatomeas para determinar el comportamiento del mismo y buscar una solución a los asentamientos que se presentan en el lugar, por lo tanto, se quiere estudiar la bentonita obtenida del valle del cauca (Colombia), debido a que, presenta características similares a la de Bogotá por su contenido de montmorillonita en su composición, agregando diatomeas de México para así determinar. ¿Qué cambios físico-mecánicos se presentan en la arcilla bentonítica al adicionarle diatomeas? Esto se realiza por medio de prácticas de laboratorio y de esta forma reconocer si este método se puede implementar con los suelos arcillosos de Colombia.

³⁶ BERNARDO, Caicedo, *et al.* Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá. Colombia. En: Journal of rock mechanics and geotechnical engineering, 2018. Vol. 10 pág. 367-379.

³⁷ SANTOYO VILLA, Enrique. Historia y actualidad del hundimiento regional de la Ciudad de México. [En línea] 2010. Disponible en: <http://tgc.com.mx/tgc/wp-content/uploads/2013/11/art001.pdf>.

3. OBJETIVOS

General

Comparar el comportamiento físico-mecánico de las arcillas bentoníticas provenientes de Bugalagrande, Valle del Cauca, Colombia con adición de diatomeas de la Ciudad de México, México.

Específicos

- Evaluar el comportamiento físico-mecánico de las arcillas bentoníticas provenientes de Bugalagrande, Valle del Cauca, Colombia con adición de diatomeas de la Ciudad de México, México.
- Establecer las posibles ventajas y desventajas del comportamiento físico-mecánico con adición de diatomeas provenientes de la Ciudad de México en arcillas bentoníticas de Bugalagrande, Valle del Cauca, Colombia.

4. JUSTIFICACIÓN

El estudio de suelos para la construcción de infraestructura determina las propiedades, características, estratigrafía, nivel freático y capacidad portante del terreno donde se va a apoyar la obra; con los valores proporcionados por este estudio es posible determinar el tipo y diseño de cimentación que conviene para la construcción teniendo en cuenta la sismicidad y factores de seguridad.³⁸

En los suelos arcillosos se han evidenciado problemas de asentamiento o hinchamiento a causa de la carga proporcionada por las obras de ingeniería, para evitar estos problemas se requiere buscar soluciones, por medio de diferentes alternativas, para poder modificar las características del suelo. Lo anterior, es posible debido a que las arcillas tienen la capacidad de variar el volumen cuando están en presencia de agua.³⁹

En Colombia hay diferentes yacimientos de arcilla, una de ellas se encuentra en el valle del cauca donde se extrae un tipo de arcilla llamado bentonita que tiene la siguiente composición química, Silicio 50,52%, Aluminio 17,25%, Hierro 7,27%, Calcio 1,21%, Magnesio 2,27%, Potasio 0,7% y Sodio 2,48, (ver anexo 1) que la hace un material hinchable con la capacidad de contener gran cantidad de agua perjudicando de esta manera las obras civiles que se realizan en este tipo de suelos, por lo tanto, se causan daños cada vez que se expande por concentrar el agua en sus espacios interlaminares o se comprime al drenarse.

Las diatomeas han sido utilizadas para adecuar las características de suelos arcillosos, para evitar la expansividad de un terreno especialmente si sobre él se pretende realizar obras de ingeniería; se han realizado investigaciones del caolín con adición de diatomeas, encontrando un mejoramiento en la capacidad portante del terreno a medida que aumenta el porcentaje de diatomeas.⁴⁰

³⁸ DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014.

³⁹ GARCÍA, Emilia y SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 25p.

⁴⁰ DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Diatomita. México. Coordinación General de Minería, 2013.

En México el potencial geológico minero se encuentran en los Estados de Jalisco, Mexico, Tlaxcala, Hidalgo, Michoacán y Baja California, los yacimientos son parte de sedimentos lacustres con impurezas de arcilla o arena.⁴¹

A partir de lo anterior, se realiza esta investigación donde se estudia el comportamiento físico-mecánico de la arcilla bentonita tipo montmorillonita, con adición de diatomeas, esto se logra realizando diferentes pruebas de laboratorio que permitan evaluar la variación de las propiedades físico-mecánicas del suelo, con el fin, de evidenciar si esta mezcla presenta ventajas o desventajas al evaluar el comportamiento y de esta manera definir la capacidad portante de la bentonita.

⁴¹ DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Diatomita. México. Subsecretaría de Minería, 2017.

6. DELIMITACIÓN

6.1 ALCANCE

Fue necesario requerir del laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Colombia, para desarrollar las respectivas prácticas de laboratorio que permitieran llegar a los objetivos propuestos inicialmente; comparando así, el comportamiento físico-mecánico de las arcillas bentoníticas provenientes de Bugalagrande, Valle del Cauca (Colombia) con adición de diatomeas de la Ciudad de México (México), para cumplirlo se reconoció y determino los tamaños de las partículas, el contenido de agua, la expansibilidad, la resistencia al corte y la compresión de la arcilla bentonítica con 13 dosificaciones de diatomea, en porcentajes entre el 0,5% al 15% para evidenciar las ventajas y desventajas que se puedan encontrar con la adición. El tiempo disponible para realizar el trabajo de grado fue de 5 meses a partir de la aprobación del anteproyecto, durante ese tiempo se realizó un trabajo arduo debido a la cantidad de prácticas necesarias para culminar la investigación con la calidad y rigurosidad que requiere.

6.2 LIMITACIÓN

Una de las limitaciones que tuvo esta investigación fue la proveniencia de las diatomeas estudiadas; de las cuales, se obtuvieron dos kilos en la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, por lo tanto, no se tuvo certeza de la localidad geológica en donde fueron extraídas, asumiendo así, que el lugar de estudio es Ciudad de México o lugares próximos donde se han reportado yacimientos de diatomeas.

La caracterización de las diatomeas no se realizó debido a que no constituye con los objetivos de la investigación, adicionalmente, la cantidad obtenida fue la necesaria para efectuar las dosificaciones de las prácticas de laboratorio

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO CONCEPTUAL

7.1.1 BENTONITA

La bentonita es una arcilla tipo montmorillonita que pertenece al grupo filosilicatos, se deriva de la alteración durante períodos geológicos de rocas ígneas y material volcánico, tales como el granito y el basalto porque son portadoras de sílice, también se pueden derivar del material vítreo emitido por los volcanes tales como la toba y la ceniza.⁴² Otros de sus compuestos son feldespato, biotita, ilita, cristobalita, piroxeno, circonio y cuarzo cristalino, entre otros minerales petrogenicos o accesorios.

La bentonita tiene la capacidad y propiedad de absorber agua, puede alcanzar entre 12 a 15 veces su volumen seco, por lo tanto, es común evidenciar que al contacto con el agua pueda formar geles tixotrópicos y tenga una capacidad de intercambio catiónico alta.⁴³ La bentonita también se evalúa por sus propiedades de plasticidad, impermeabilidad, hidratación, forma y tamaño.⁴⁴

La exploración de bentonita realiza con métodos de mapeo de campo, zanjas y perforación, para realizar una extracción de este material se debe verificar la calidad y cantidad del depósito. Usualmente, se extrae de pozos abiertos y se deja secar natural para realizar productos industriales seguido de procesos de trituración y cribado.⁴⁵

⁴² STANKOVIĆ, Nadežda: *et al.* Characterization of bentonite clay from “greda” deposit. In: Processing and Application of Ceramics. Vol. 5. (Apr, 2011). 97-101 Págs.

⁴³ PARRADO, Breidy y TOLOZA, Julieth. Determinación de la superficie específica en suelos caoliníticos y bentoníticos mediante la técnica de adsorción de agua destilada aplicando diferentes gradientes térmicos. Bogotá D.C. 2017. 106p. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

⁴⁴ STANKOVIĆ, Nadežda. Op. cit

⁴⁵ DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Bentonita. Coordinación General de Minería. (2013).

Figura 1. Bentonita humedad natural



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

7.1.1.1 TIPOS

Los tipos de bentonita que se encuentran en la naturaleza son tres y dependen del contenido de Sodio (Na) o Calcio (Ca) y su capacidad de hinchamiento.

- a) La bentonita altamente hinchable o sódica, indica que su ion intercambiable es el sodio, es expansible y absorbe varias veces su peso seco en agua puede llegar a aumentar 12 veces su volumen.
- b) La bentonita poco hinchable o cálcica tiene el ion intercambiable de calcio no tiene la misma capacidad de expansión que la sódica, pero tiene propiedades absorbentes.
- c) La bentonita moderadamente hinchable o intermedia.

Vale aclarar, que los usos de la bentonita dependen del tipo, debido a que algunas de sus características y propiedades varían por su composición química.

7.1.1.2 USOS

Las bentonitas tienen diversos usos debido a sus propiedades, en arenas de moldeo se utiliza porque proporciona cohesión y plasticidad lo que facilita el moldeo y la resistencia para mantener la forma del material fundido; para el sellado de materiales se usa en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos impidiendo escape de gases. La bentonita absorbe la humedad evitando derrumbes en túneles o excavaciones, también es ayudante de impermeabilización y cementación de fisuras.⁴⁶

7.1.2 DIATOMEAS

Son algas microscópicas que tienen una frústula de sílice y están recubiertas por carbohidratos y proteínas, su tamaño está entre 5 micras y 0,5 mm, su registro fósil es en el Cretácico donde se formaron los depósitos de tierra de diatomeas. Hay diversidad de especies tanto en ecosistemas marinos como de agua dulce, las diatomeas son responsables aproximadamente del 20 al 25% de la producción de oxígeno.⁴⁷

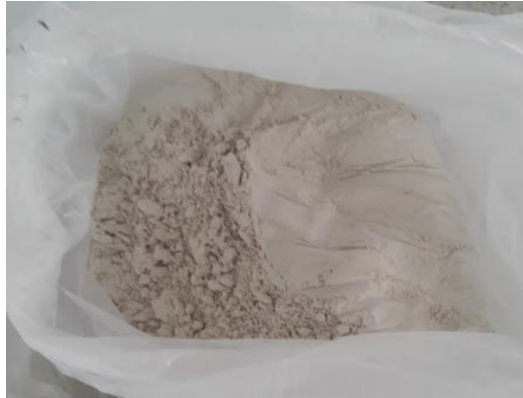
Su reproducción es de manera asexual como sexual, hacen una división de ADN, logrando que se repliquen y que se den dos células hijas iguales. Las diatomeas están compuestas de dos partes no simétricas, la epitoca y la hipoteca. Adicionalmente, las diatomeas se dividen en céntricas y pinnadas, las céntricas pueden ser radialmente simétricas mientras las diatomeas pinnadas son alargadas; estas predominan según el ecosistema en el que se encuentran, las pinnadas predominan de agua dulce mientras las céntricas en aguas marinas, vale aclarar que las diatomeas necesitan de la energía solar para vivir por lo tanto se encuentran sobre la superficie del agua y a una profundidad máxima de 200m, las diatomeas según su especie tienen rasgos particulares para desarrollarse, intervienen aspectos como temperatura, oxígeno, densidad del agua y acidez.⁴⁸

⁴⁶ GARCÍA, Emilia; SUÁREZ Mercedes. . Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca 13 p.

⁴⁷ KALE, Aditi and KARTHICK, Balasubramanian. The Diatoms. Big Significance of Tiny Glass Houses. In: Journal Resonance. (Oct, 2015).

⁴⁸ LÓPEZ, Jorge. Comportamiento cíclico de suelos diatomáceos. México. 2009. 268p. Trabajo de Grado (Maestro en Ingeniería- Ingeniería Civil Geotécnica). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Figura 2. Diatomeas humedad natural



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

7.1.2.1 USOS

Los usos más comunes con la diatomea son como fertilizante, control de plagas, conservador de semillas y filtrante; pero debido a las propiedades y tamaño se realizan estudios e implementación de la diatomea en nanotecnología y geotecnia. Respecto a geotecnia se evidencia un mejoramiento de las características del suelo mezclado con diatomea., también es importante mencionar que se han usado en asfaltos y cementos para aumentar su vida útil y resistencia.⁴⁹

7.2 MARCO NORMATIVO

El marco normativo por el cual se rigen las prácticas de laboratorio en Colombia es el Invia (Instituto Nacional de Vías), debido a que es la entidad del estado encargada de realizar las políticas y programas de la infraestructura de red vial; el proyecto se realiza en el territorio colombiano, por lo tanto, se seleccionaron estas normas ya que son las vigentes en el país. El Instituto Nacional de Vías es la entidad del Estado colombiano que ejecuta políticas y proyectos de infraestructura vial, elabora conjunto del Ministerio de Transporte.

Las normas a tener en cuenta son:

⁴⁹ MARTÍN, Azucena. El alga de las “mil” aplicaciones: todo sobre las diatomeas. [En línea] Mayo 2016. Disponible en: <https://omicronno.lespanol.com/2016/05/diatomeas-algas/>

Tabla 1 Marco normativo

NOMBRE DEL ENSAYO	NORMATIVIDAD	OBJETIVO
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 123 DE 2013	Especifica la distribución del tamaño de las partículas menores de 75 micras por un proceso de sedimentación empleando el hidrómetro.
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 128 DE 2013	Permite conocer la relación entre una masa a una temperatura dada y una masa de agua. Existen dos métodos para realizar el ensayo, el A para muestras húmedas y el B para muestras secas.
Determinación del límite líquido de los suelos	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 125 DE 2013	Determina el contenido de humedad de una muestra, se usa el método multipunto ya que es más preciso tomando datos a los 15, 25 y 35 golpes.
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 126 DE 2013	Determina el contenido más bajo de agua que puede tener una muestra, y la determinación de la diferencia entre los estados límites de esta. El ensayo realiza para material que pase el tamiz N° 40.
Consolidación unidimensional de los suelos	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 151 DE 2013	Determina el grado de asentamiento que obtiene una muestra al someterla a diferentes cargas con esfuerzo controlado, se toma la lectura de la deformación en intervalos de tiempo hasta cumplir las 24 horas.
Compresión inconfiada en muestras de suelos	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 152 DE 2013	Determina la resistencia a la compresión no confinada obteniendo un valor de la resistencia de los suelos cohesivos que no expulsen agua durante la etapa de carga como arcillas y suelos cementados, se da en términos de esfuerzos totales, este ensayo se puede realizar en muestras inalteradas, remoldeadas o compactadas.
Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada	NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS – SECCIÓN 100 – E 154 DE 2013	Evalúa la capacidad que tiene una muestra consolidada drenada para resistir los esfuerzos, se lleva a cabo deformando el material a una velocidad controlada.

Tomado y modificado de: Norma y especificaciones INVIAS 2013.

Ensayos como permeabilidad de suelos granulares (INV-130), corrección del peso unitario y del contenido de agua de suelos que contienen sobretamaños (INV-143), no se realizan ya que sirven para material granular y en este caso se está estudiando un material arcilloso. Los ensayos como toma de muestras inalteradas de suelo en superficie (INV-104), obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada (INV-105), perforaciones con brocas en diamante para investigaciones en el sitio (INV-108), se realizan para obtener muestras del material in-situ; sin embargo, en esta investigación no se efectúan debido a que el material de estudio se obtuvo por medio de terceros.

El ensayo de relaciones humedad- peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación) (INV-142) se aplica a suelos con 30% o menos de su masa con mayor tamaño a 19 mm, por lo tanto, no es posible aplicarlo en la bentonita ya que todo el material es pasante No. 200.

7.3 ESTADO DEL ARTE

El estudio de las diatomeas surge a partir de la década de los 90; se implementaron investigaciones debido a que en la naturaleza se encuentran aproximadamente 2000 especies, a fin de mejorar las propiedades y resistencia del suelo en efectos de ingeniería se usaron como material de relleno; dado que, modifica la densidad seca del terreno en aproximadamente 1.0 a 1.2 Mg/m³ y contenido de humedad de 38-53%.⁵⁰

En la Ciudad de México el subsuelo lacustre tiene propiedades singulares con un contenido de agua mayor al 400% e índice de plasticidad mayor al 300%, presenta microfósiles como ostrácodos y diatomeas. En 2007 se determinó la influencia de las diatomeas en la resistencia al corte del caolín con dosificaciones de diatomita y caolinita de 0, 5, 10, 20 y 30 por ciento de diatomea; al realizar esta mezcla se genera porosidad aumentando el contenido de agua y disminuyendo la plasticidad. Esta mezcla de diatomeas con un suelo arcilloso aporta resultados positivos, ya que, genera un comportamiento efectivo para lograr actividades de ingeniería civil.⁵¹

Este suelo es particular, por ser un terreno lacustre con actividad volcánica, lo que puede generar sílice disuelto y así, producir depósitos diatomáceos; las diatomeas que se encuentran en este lugar se caracterizan por tener propiedades físicas, químicas e hidráulicas singulares. Con base en lo anterior, se evaluó el comportamiento monotónico de suelos diatomáceos, por medio de los ensayos de límites de Atterberg y resistencia al esfuerzo cortante, identificando los cambios que producen las diatomeas a la caolinita. De este modo, al incrementar el contenido de diatomea al 0% 20% 40% 60% y 100%, aumenta el ángulo de fricción entre el 2,3% y el 45%, el límite líquido entre 56,4% y 75,5% y el límite plástico entre 28,9% y 56,7%.⁵²

Frente a este tema, Caicedo, Zuluaga & Slebi realizaron una investigación sobre parámetros de caracterización y respuesta mecánica en suelo diatomáceo con caolín, en el cual, se compara la diatomea Mexicana *Coscinodiscus Centric* con la diatomea colombiana *Aulacoseira Granulata*, ambas se encontraban en un estado de conservación y no presentaban arcillas en sus micro poros, al realizar los ensayos de resistencia al corte, compresibilidad, consolidación unidimensional y

⁵⁰ DAY, Robert. Engineering properties of diatomaceous fill. American Geotechnical, New York: ASCE. 1995.

⁵¹ NAVA TRISTÁN, Oliver. Influencia de las diatomeas en la resistencia al corte de caolín. México D.F. 2007. 108p. Trabajo de grado (Para optar al título de maestro en Ingeniería civil – geotecnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

⁵² LÓPEZ, Jorge. Comportamiento cíclico de suelos diatomáceos. México. 2009. 268p. Trabajo de Grado (Maestro en Ingeniería- Ingeniería Civil Geotecnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería

pruebas triaxiales, se demostró que, aunque ambas diatomeas mejoran las características del suelo, las magnitudes de la muestra mexicana son mayores.⁵³

En la geotecnia se estudian varios usos de las diatomeas, uno de ellos ha sido el mejoramiento de la resistencia a la compresión y microestructura del cemento portland, el estudio realizado demostró que, con diferentes porcentajes y tipos de diatomea agregados al cemento en el proceso de curado, se incrementa la resistencia a la compresión de la pasta de cemento de 15,4% a 54,6%, reduciendo así, la hidratación temprana; mientras, su microestructura se vuelve más compacta debido a los contenidos óptimos de calcita.⁵⁴

Las diatomeas se han implementado en diferentes ámbitos, uno de ellos es la combinación con el asfalto; ya que, se busca aumentar el rendimiento y vida útil de las vías generando resistencia a la humedad. Esta mezcla proporciona adherencia al asfalto con el agregado, favoreciendo el aislamiento térmico del pavimento. Este proyecto aporta más beneficios a alta que a baja temperatura, por lo tanto, al implementar la diatomea con el asfalto modificado genera mayores ventajas que con el asfalto tradicional. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las diatomeas no previenen la aparición de fisuras y fatiga en el pavimento.⁵⁵

Asimismo, es indispensable conocer el comportamiento de los suelos para realizar obras de ingeniería, entre los aspectos importantes se encuentra la capacidad de carga del terreno, para evitar que haya asentamientos y otros problemas geotécnicos. En la sabana de Bogotá se encontraban diatomeas en el subsuelo desde la época de los 90⁵⁶, por lo tanto, es necesario estudiar el estado de las diatomeas del suelo lacustre de la ciudad; para ello se extrajeron muestras del yacimiento, con las cuales se realizaron pruebas físicas y mecánicas, tales como granulometría, límites de Atterberg, densidad de partículas sólidas, contenido de materia orgánica, compresión edométrica, pruebas triaxiales y observaciones por medio de la microscopía de barrido (SEM), con estas pruebas de laboratorio se logró demostrar que al aumentar la cantidad de las diatomeas en el suelo, aumenta la plasticidad del suelo sin arcilla.⁵⁷

⁵³ CAICEDO, B; ZULUAGA y D and SLEBI C. Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species. Bogotá D.C.: 2016.

⁵⁴ LIU, Jun; SHAO, Peng and WANG, Shihao. The influence of diatomite on the strength and microstructure of portland cement. China. EDP Sciences, 2016 tomo 67.

⁵⁵ YANG, Chao; *et al.* Performance Evaluation and Improving Mechanisms of Diatomite- modified asphalt mixture. China. Materials, 2018.

⁵⁶ MOYA, Julio. El subsuelo de Bogotá y los problemas de cimentaciones. En: I Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras. Colombia: 1987. 197-221 Págs.

⁵⁷ MENDOZA, Cristhian; *et al.* Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá, Colombia. En: Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. October 2018.

Por otro lado, la arcilla es un agente mineral producido por medio de la meteorización de las rocas, se ha usado en la fabricación de diferentes productos y tiene como ventaja que en sus espacios interlaminares se puede insertar material orgánico o inorgánico. Colombia es un país con diversidad de minerales arcillosos, una de las arcillas que se encuentra en su suelo es la bentonita, que está compuesta químicamente por Calcio (Ca), Magnesio (Mg) Sodio (Na), Litio (Li), también por esmectita, cuarzo, feldespato, caolinita, yeso e illita. Los depósitos tienden a ser grandes y a poca profundidad, la mayoría de veces se extrae de pozos abiertos con excavadoras.⁵⁸

Actualmente, se evidencian dos tipos de bentonita, la hinchada o de sodio, que es aquella que se usa en su estado natural y la bentonita no hinchable o de calcio. Este mineral tiene diversos usos, pero los importantes para ingeniería civil, son la granulación de hierro y la cementación de fisuras y grietas. Esta arcilla también se utiliza para la estabilización de túneles o excavaciones, por lo tanto, al realizar ensayos de laboratorio se obtuvo que la bentonita es una arcilla de alta plasticidad (CH), es decir, tiene capacidad de adsorción alta⁵⁹. Esta, se encuentra fácilmente en la industria, los mayores productores son EEUU y China con un porcentaje alrededor del 50% de la producción mundial.⁶⁰

Los principales yacimientos y explotaciones de bentonita en Colombia están en los departamentos del Tolima, Caldas y Valle del Cauca. En el año 1995 en Bugalagrande (Valle), se explotó la bentonita con una producción de 900 toneladas, en este yacimiento, en la octava capa de suelo se encuentra la bentonita industrial, la cual tiene como componente principal la montmorillonita y es un material mesoporoso, debido a que su porosidad es heterogénea, también, se caracteriza por tener superficie externa debido a que sus láminas son cerradas y sin acceso al espacio interlaminar.⁶¹

La bentonita industrial al ser una arcilla expansible sufre cambios de volumen en presencia de agua y al tener alto contenido de montmorillonita su índice de hinchamiento es mayor. Al estabilizar la bentonita se mejora el suelo, este proceso se realiza cambiando sus propiedades de forma física o electroquímica por medio de cenizas volantes, cal o aceites sulfatados; aunque, los tres recursos generan beneficios en la arcilla, la cal es el aditivo que presenta mejores resultados al

⁵⁸ PARRADO, Breidy y TOLOZA, Julieth. Determinación de la superficie específica en suelos caoliniticos y bentoniticos mediante la técnica de adsorción de agua destilada aplicando diferentes gradientes térmicos. Bogotá D.C. 2017. 106p. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

⁵⁹ Ibid.,

⁶⁰ IM Staff. *Soaking it up: bentonite's global reach*. En: Industrial Minerals Magazine June Issue. (May, 2016). 12págs.

⁶¹ CARRIAZO, José; *et al.* Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. En: Revista UNAL Tomo 36, N°2. 2007. Pág. 213-225.

disminuir la expansibilidad, ya que, reduce el límite líquido y el índice de plasticidad aumentando la manejabilidad, permeabilidad y resistencia.⁶²

La bentonita y el cemento son materiales que absorben agua y por lo tanto, cambian algunas de sus propiedades cuando se mezclan; el cemento tiene las propiedades de fraguar y resistir la compresión mientras que la bentonita es altamente plástica, la unión de estos materiales mejora las propiedades físicas y mecánicas que se requieren en las obras de construcción, lo anterior, se estableció con dosificaciones de agua-cemento-bentonita lo que verificó los cambios mediante la prueba de compresión simple.⁶³

⁶² CAMACHO, Javier Fernando; *et al.* Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. En: Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 16. Número 2. (Dic, 2006)

⁶³ GARCÍA, Daniel. Pruebas de laboratorio de lodos fraguantes y propuesta de utilización en la ingeniería civil. México: UNAM, 2013

8. METODOLOGÍA

8.1 INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

8.1.1 Misión técnica internacional al país de México

Al confirmar la misión técnica internacional a México se dio a la tarea de investigar sobre un tema innovador para el artículo de grado, por lo cual, se acudió a tomar recomendaciones de los tutores de la facultad, quienes aconsejaron indagar sobre la incidencia de las diatomeas en combinación con el suelo arcilloso, por lo tanto, se agendo una cita desde Colombia con el Ingeniero civil y profesor de la UNAM Jorge Abraham Díaz Rodríguez, él se refirió a las escasas investigaciones realizadas sobre el tema y la importancia de profundizarlo; ya que, de acuerdo a estudios previos se ha evidenciado que las diatomeas mejoran la capacidad portante del suelo y su aplicación en el terreno colombiano conllevaría a beneficios tales como, disminuir los asentamientos presentados por las arcillas al tener cambios de volumen en presencia de agua, así que, se decidió obtener diatomeas para estudios de laboratorio que permitan identificar las características del material.

8.1.2 Realización del estado del arte

Se realizó una investigación de manera rigurosa para efectuar el análisis y escoger que información es trascendental en el proyecto que tiene como base el estudio de la bentonita y las diatomeas, también, se averiguan los usos, aplicaciones, estudios e investigaciones en diferentes documentos, trabajo de grado y revistas científicas que permitieron la realización del estado del arte y marco conceptual como base de información para todo el cuerpo del trabajo.

Sobre las diatomeas se utilizaron referentes teóricos que permitieron construir un conocimiento científico del tema para ser desarrollado, además de, situar el proyecto como artículo de apoyo en el área de ingeniería civil, para la aplicación de diatomeas en suelo arcilloso y así obtener un primer acercamiento cognitivo frente al tema en referencia.

La consulta para esta investigación comenzó por páginas web, con la asesoría de profesionales en el área, siendo, relevante la entrevista realizada en Ciudad de México (México) al ingeniero Abraham Díaz Rodríguez, quien recomendó fuentes

primarias y secundarias para la investigación, además de, especificar la importancia de los materiales en cuestión.

Al conocer los estudios que se realizaron con estos dos tipos de materiales, se procedió a observar los cambios originados al mezclarse, acudiendo a laboratorios físico-mecánicos de suelos.

8.1.3 Dosificaciones

A partir de la consolidación de la información se determinaron y compararon dosificaciones que han realizado otros autores, se evidencio la utilización dosificaciones de diatomea aproximadamente de 20% de diferencia entre muestras, por lo cual, se eligen las dosificaciones de bentonita con adición de diatomea en porcentajes que oscilan entre el 0,5% al 15% debido a que hay ausencia de estudios con adiciones mínimas.

Tabla 2 Dosificaciones

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
% Diatomea	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3
% Bentonita	99,5	99,2	99	98,5	98	97,5	97
Muestra	8	9	10	11	12	13	14
% Diatomea	3,5	4	4,5	5	10	15	0
% Bentonita	96,5	96	95,5	95	90	85	100

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

8.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

De acuerdo, a los estudios previos se logró establecer la fase teórica de los ensayos para continuar con las prácticas de laboratorio, que se realizaron según las Normas y Especificaciones Invias 2013, se realizaron con las 14 dosificaciones para tener parámetros que facilitaran la comparación y análisis de resultados.

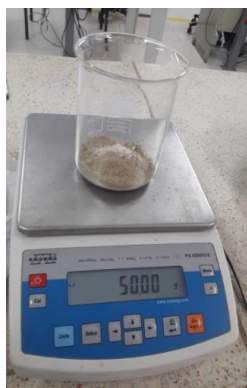
8.2.1 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos

Este laboratorio tuvo como objetivo la determinación de la distribución de tamaños de partículas, mediante un proceso de sedimentación, como los tamaños de la muestra eran menores a 75 micras se empleó un hidrómetro; este laboratorio, se basó en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido; el hidrómetro sirvió para determinar de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y para medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

8.2.1.1 Procedimiento laboratorio uno. Durante la práctica de laboratorio se realizaron los siguientes pasos para conseguir los resultados esperados:

- Se realizó la solución de Hexametáfosfato de Sodio en agua destilada en porción de 40 g por litro de solución.
- Se tomaron 50 g de material pasante tamiz Nro. 200 en un beaker, teniendo en cuenta, las diferentes dosificaciones que se determinaron para la presente investigación.

Figura 3. Cantidad de material



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Se agregó 125 ml de la solución ya preparada, esta mezcla se dejó como mínimo 16 horas saturando en un beaker.

Figura 4. Muestras saturando



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Pasado este tiempo, en el agitador se mezcló todo durante un minuto cronometrado.

Figura 5. Muestra en el agitador



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- La mezcla se pasó a una de las probetas, se le agregó agua hasta completar 1000 ml con agua destilada. Para completar el proceso de mezcla, durante un

minuto se agitó la probeta poniendo la palma de la mano en el extremo superior para voltearlo.

Figura 6. Espécimen con agua destilada



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Se introdujo el hidrómetro a la probeta con la mezcla a los 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 minutos, las lecturas se hicieron al tope del menisco y por cada lectura se midió la temperatura. Terminado el tiempo en la probeta con mezcla, el hidrómetro se llevó a la probeta con agua limpia para remover cualquier residuo.

Figura 7. Probetas en baño de maría



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

8.2.1.2. Cálculos laboratorio uno.

- Cálculo del diámetro de las partículas (D): El tamaño de las partículas en suspensión corresponden a la lectura del hidrómetro en porcentaje.

$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

L = Profundidad efectiva en mm, tabla. (anexo2)

T = Tiempo transcurrido en minutos.

K = Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y la temperatura de suspensión. (Anexo 3)

- Cálculo del porcentaje más fino:

$$\text{porcentaje más fino} = \frac{Rca}{Ws} * 100$$

Rc = Gramos de suelo en suspensión en un tiempo t dado (lectura del hidrómetro corregida).

Ws = Peso original del suelo colocado en suspensión, g.

a = Constante a utilizar si G_s no es igual a 2.65. (Anexo 4).

$$a = \frac{G_s (1.65)}{(G_s - 1) 2.65}$$

Una vez realizados los cálculos con las anteriores ecuaciones se procedió a realizar la gráfica con diámetro de las partículas en el eje horizontal y el porcentaje más fino de las partículas en el eje vertical.

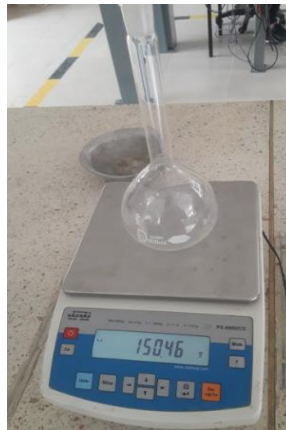
8.2.2 La gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua.

Esta práctica se efectuó mediante la utilización de un picnómetro de los suelos que pasan el tamiz No. 4; la gravedad específica es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a la misma temperatura. Se realizó la práctica por el método B, que es utilizada para especímenes secados al horno.

8.2.2.1 Procedimiento laboratorio dos.

- Calibración del picnómetro: Se tomó el peso del picnómetro vacío, después se llenó hasta el menisco con agua a diferentes temperaturas y se tomó el peso nuevamente.

Figura 8. Calibración del picnómetro



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Con ayuda de un embudo se introdujo el material al picnómetro, luego se agregó agua destilada hasta el menisco y se agitó para formar una lechada.

Figura 9. Material dentro del picnómetro



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Se llevó la muestra a la máquina de extracción de vacíos para extraer el aire de la lechada.

Figura 10. Máquina de extracción de vacíos



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Todo el contenido se pesó en la balanza (Picnómetro + Agua + Suelo), con una aproximación de 0,01 g. el contenido del picnómetro se vació completamente en un platón, este se llevó al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que se secó toda el agua.

8.2.2.2. Cálculos laboratorio dos.

- Calibración del picnómetro.

Se realizó una gráfica entre la temperatura en el eje x y el peso del picnómetro más agua en esa temperatura en el eje y.

- volumen calibrado del picnómetro (V_p).

$$V_p = \frac{M_{pw,c} - M_p}{\rho_{w,c}}$$

$M_{pw,c}$ = Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración g.

M_p = Masa promedio del picnómetro seco g.

$\rho_{w,c}$ = Densidad de la masa del agua a la temperatura de calibración g/cm^3 .
(Ver anexo 5)

- Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de ensayo ($M_{pw,t}$).

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

M_p = Masa promedio del picnómetro seco g.

V_p = volumen calibrado del picnómetro.

$\rho_{w,t}$ = Densidad de la masa del agua a la temperatura de calibración g/cm^3
tabla 4 densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura.

- Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a la temperatura de ensayo (G_t).

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)]}$$

ρ_s = Densidad de las partículas sólidas g/cm^3 .

$\rho_{w,t}$ = Densidad del agua a la temperatura de ensayo g/cm^3 .

M_s = Masa de los sólidos del suelo secado en el horno g.

$M_{pws,t}$ = Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura del ensayo.

- Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a 20 °C ($G_{20^\circ C}$).

$$G_{20^\circ C} = K * G_t$$

K = Tabla 4. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura.

8.2.3 Determinación del límite líquido de los suelos

El límite líquido es el porcentaje del contenido de humedad respecto al peso del suelo seco y se aplica al suelo pasante del tamiz No. 40, en esta práctica se determinó por los métodos de muestra húmeda y multipunto, se indicó que entre 15 y 25 golpes está el primer punto, entre 20 y 30 golpes el segundo punto y entre 25 y 35 golpes el tercer punto con el fin de obtener datos con precisión.

8.2.3.1 Procedimiento laboratorio tres.

- Se tomó una muestra de ± 200 g de material pasa tamiz Nro. 40 y se humedecía la muestra; se forma una pasta uniforme con la ayuda de una espátula.

Figura 11. Formación de la pasta de bentonita



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- La pasta formada se esparció sobre la cazuela de Casagrande de forma que la pasta quedará compactada, con ayuda de una espátula delgada. El espesor de la capa en la cazuela no debía exceder los 10 mm, se procuró que la pasta estuviera únicamente en la mitad de la cazuela.

Figura 12. Cazuela con la muestra de bentonita



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Cuando estuvo lista la pasta, se pasó el ranurador por la mitad vertical de la cazuela, para separar en dos partes iguales de la pasta, que se espera se junten cuando se accione la cazuela de Casagrande.

Figura 13. Separación de la muestra



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Se accionó la cazuela de Casagrande con un mecanismo que consistía en hacer girar una palanca, cada giro completado sería un golpe, que se le dio al platón redondeado de cobre.

Figura 14. Golpes a la cazuela



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- De la división que se realizó se deben tomar aproximados 13 g de la parte central que fue el lugar donde ocurrió la unión del suelo, esto se realizó con ayuda de una espátula delgada.
- El material se pesó y se registró su dato, teniendo en cuenta el peso del recipiente en el que se dispone el material; se llevó al horno a temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener masa constante, una vez paso esto, se debió pesar la muestra y registrar el dato.
- Se repitió el procedimiento con el fin de obtener el multipunto exigido por la norma (Tres puntos).

8.2.3.2 Cálculos laboratorio tres.

- Contenido de agua. Se calculó el contenido de agua de cada porción del suelo.

$$\text{Contenido de agua} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} * 100$$

Se realizó la gráfica entre el número de golpes en el eje x y el porcentaje de humedad en el eje y, así se determinó el porcentaje de humedad que se presentó a los 25 golpes.

8.2.4. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, se determinó por método manual y para suelo que pasa el tamiz No. 40, se hicieron los rollos de suelo de aproximadamente 3,2 mm de diámetro, los rollos se hacen entre la palma de la mano y una superficie lisa para evitar que estos se desmoronen pero que presenten agrietamiento. El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

8.2.4.1 Procedimiento laboratorio cuatro.

- Se tomaron aproximados 2 g de material, se humedecieron y se amasaron de forma elipsoidal.

Figura 15. Bentonita húmeda



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Contra el vidrio esmerilado se rudo la masa con ayuda de la palma de la mano aplicando presión suficiente, de esta manera se formaron los rollos de diámetro uniforme que debían alcanzar los 3,2 mm aproximadamente.

Figura 16. Rollos formados para límite plástico



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Cuando el rollo alcanzo los 3,2 mm de diámetro, se almacenaron en el recipiente previamente pesado, el mínimo de ese material debía ser de 6 g.

Figura 17. Registro del peso de los rollos



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Se llevó al horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta que se obtuvo masa constante. Una vez listo, se pesó la muestra y se registró el dato.

8.2.4.2 Cálculos laboratorio cuatro.

- Para el cálculo del límite plástico (LP), se debió expresar el contenido de agua en porcentaje de la masa seca cuando es extraída del horno, con la siguiente formula:

$$LP = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} * 100$$

Se registró el Limite Plástico, aproximado al número entero más cercano.

- Se realizó el índice de plasticidad (IP) según la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

8.2.5 Consolidación unidimensional de los suelos

El proceso de consolidación se llevó a cabo para determinar la reducción de volumen de un suelo, debido a la aplicación de carga; el incremento de carga se

mantuvo constante hasta que el exceso de presión de poros se disipó; se tomaron lecturas de tiempo y deformación durante el incremento de carga.

8.2.5.1 Procedimiento laboratorio cinco

- Se midieron las dimensiones del anillo, la altura y el ancho, para tener un valor aproximado se tomaron 4 medidas de cada dimensión y se hizo un promedio.
- La muestra se humedeció con agua destilada suficiente para llenar los vacíos y que estuviera por encima del límite líquido; es introdujo la muestra en el anillo previamente engrasado y se enrasó por ambos extremos.

Figura 18. Muestra de bentonita en el anillo de consolidación



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- El anillo con la muestra se puso entre dos piedras porosas en cada extremo, dentro del consolidómetro.
- Todo el montaje se tapó y se atornilló fijamente; la cámara de consolidación se llenó de agua, de esta manera la muestra se saturó completamente.

Figura 19. Cámara de consolidación



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

- Se colocó una carga de 5 kPa, luego el deformímetro se calibró en cero y de ser necesario se aumentó la carga de asiento para que evitara la expansión.

Figura 20. Aparato de consolidación



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Justo en el momento que se aplicaban las cargas se comenzó a tomar los tiempos con un cronómetro y en cada intervalo de tiempo se tomó la deformación.
- Al final del último tiempo, se descargó la muestra y se midió su deformación final, la muestra se llevó al horno durante 24 horas a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, la muestra seca se pesó y se registraron los datos.

8.2.5.2 Cálculos laboratorio cinco.

- Se halló el valor de la masa seca de la muestra (M_d).

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + W_{fp}}$$

M_{Tf} = Masa total del espécimen después del ensayo g.

W_{fp} = Contenido de agua de la cuña de espécimen tomada después del ensayo, en forma decimal g.

- Se calculó el contenido de humedad inicial (M_0).

$$M_0 = \frac{M_{T0} - M_d}{M_d} * 100$$

M_d = Masa seca del espécimen g.

M_{T0} = Masa total del espécimen antes del ensayo g.

- Se calculó el contenido de humedad inicial (W_f).

$$W_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} * 100$$

M_{Tf} = Masa total del espécimen antes del ensayo g.

- Se calculó la densidad seca inicial del espécimen (ρ_d).

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_0}$$

V_0 = Volumen inicial del espécimen cm³.

- Se calculó el volumen de sólidos (V_s).

$$V_s = \frac{M_d}{G\rho_w}$$

G = Gravedad específica de sólidos.

ρ_w = Densidad del agua de poros g/cm³.

- Se halló la altura equivalente de los sólidos (H_s).

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

V_s = Volumen de sólidos cm³.

A = Área del espécimen cm².

- Se calculó la relación de vacíos inicial (e_0).

$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

H_0 = Altura inicial del espécimen cm.

H_s = Altura de sólidos cm.

- Se calculó la relación de vacíos final (e_f).

$$e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

H_f = Altura final del espécimen cm.

- Se calculó el grado inicial de saturación, en porcentaje (S_0).

$$S_0 = \frac{(M_{T0} - M_d)}{A\rho_w (H_0 - H_s)} * 100$$

- Se calculó el grado final de saturación, en porcentaje (S_f).

$$S_f = \frac{(M_{Tf} - M_d)}{A\rho_w (H_f - H_s)} * 100$$

- Para cada lectura de deformación se calcula el cambio de altura del espécimen cm (ΔH).

$$\Delta H = d - d_0 - d_a$$

d = Lectura de deformación a varios tiempos en el ensayo cm.

d_0 = Lectura de deformación inicial cm.

d_a = Corrección por la deformación del aparato cm.

- Se calculó la altura del espécimen cm (H).

$$H = H_0 - \Delta H$$

- Se calculó la relación de vacíos (e).

$$e = \frac{H - H_s}{H_s}$$

- Se calculó la deformación unitaria axial en porcentaje (ε).

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} * 100$$

- Se calculó la diferencia final de altura (H_d).

$$H_d = H_f - H_{et}$$

H_f = Altura final calculada usando det cm.

H_{et} = Altura final media cm.

- Se calculó el esfuerzo axial total Kpa (σ_a).

$$\sigma_a = \left(\frac{P + M_a g}{A} \right) * 10$$

P = Fuerza aplicada N.

M_a = Masa del aparato que descansa sobre el espécimen Kg.

A = Área del espécimen cm².

g = Aceleración de la gravedad 9,81 m/s².

8.2.6 Compresión inconfiada en muestras de suelos

- El objetivo de esta práctica fue identificar la carga por unida de área, a la cual estaría sometido un suelo, es decir, la resistencia a la compresión inconfiada, detectando las fallas del suelo en determinado tiempo, se realizó para suelos cohesivos aplicando carga axial con control de deformación

8.2.6.1 Procedimiento laboratorio seis.

- Se agregó y se mezcló la muestra con agua, se engrasó el tubo cilíndrico y a medida que se agregó el material se le aplicó una fuerza con un martillo para evitar los vacíos y obtener la muestra en forma cilíndrica.
- A la muestra cilíndrica se le tomaron tres diámetros en sus secciones superior, media e inferior y se promediaron; igualmente, con las alturas del cilindro, en distintas zonas para obtener un promedio y se tomó el peso de la muestra inicial.

Figura 21. Muestra cilíndrica



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Se ejerció la acción de una carga sobre la muestra, de forma controlada con el aparato de compresión y su respectivo deformímetro, se procuró empezar en el momento justo donde se ponía en contacto el sensor y la muestra.
- Los datos obtenidos se registraron de tal manera en la que se pudiera evidenciar el punto máximo de la carga y su reducción a partir de este punto.

Figura 22. Aparato de compresión con bentonita



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- La muestra se llevó al horno durante 24 horas a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, la muestra seca se pesó y se registraron los datos.

Figura 23. Muestra ensayada con fallas visibles



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

8.2.6.2 Cálculos laboratorio seis.

- Se calculó la deformación axial: se realizó para cada carga aplicada (ε_1).

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0} * 100$$

L_0 = -Longitud inicial del espécimen mm.

ΔL = Cambio de longitud del espécimen, obtenido a partir de las lecturas del indicador de deformaciones mm.

- Se calculó el área de la sección transversal media: se realizó para una carga aplicada dada (ε_1).

$$A = \frac{A_0}{\left[1 - \frac{\varepsilon_1}{100}\right]}$$

A_0 = Área media inicial de la sección transversal de la muestra mm².

- Para cada carga se calculó el esfuerzo compresivo (σ_c).

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

P = Carga aplicada KN.

A = Área media correspondiente a la sección transversal mm².

- Se calculó la sensibilidad (S_T): Se determinaron las resistencias a la compresión sobre el suelo inalterado y remodelado.

$$S_T = \frac{q_u (\text{muestra inalterada})}{q_u (\text{muestra remodelada})}$$

8.2.7 Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada

La práctica se realizó deformando la muestra con una velocidad controlada en el dispositivo de corte directo, luego aplicó un esfuerzo normal, drenó el ensayo, consolidó la muestra y desbloquearon las mitades donde estaba contenida la muestra hasta que se desplazó la mitad a una velocidad constante de deformación.

8.2.7.1 Procedimiento laboratorio siete.

- Se ensambló la caja de corte con los marcos alineados y se bloqueó. Se aplicó una capa de grasa entre los marcos para que estuviera impermeabilizado durante la consolidación y redujera la fricción durante el corte.

- Se introdujo la muestra de ensayo con cuidado, se conectó el dispositivo de carga y se ajustó el dial, midiendo la deformación durante el corte y el cambio del espesor de la muestra, luego se determinó el espesor inicial.

Figura 24. Bentonita en el dispositivo de corte directo



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Se permitió una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada, después de que se aplicó la fuerza normal predeterminada, se llenó el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, lo que permitió el drenaje y una nueva consolidación. El nivel del agua se debía mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte, de tal manera que, la muestra estuviera saturada en todo momento.
- Durante el proceso de la consolidación debían registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, es decir, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.

Figura 25. Dispositivo corte directo



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

- Cada incremento de la fuerza normal debía durar hasta que se completara la consolidación primaria. El incremento final debía completar la fuerza normal especificada.
- Se representaron gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.

8.2.7.2 Cálculos laboratorio siete.

- Se calculó el esfuerzo cortante nominal actuante sobre el espécimen (τ).

$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

F_s = Fuerza de corte KN.

A = Área de la caja de corte m².

- Se calculó el esfuerzo normal nominal actuante sobre el espécimen (σ_n).

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A}$$

F_n = Fuerza de corte KN.

- Se calculó la velocidad del desplazamiento: se realizó a lo largo del corte (R_d).

$$R_d = \frac{d_h}{t_e}$$

d_h = Desplazamiento lateral relativo mm.

t_e = Tiempo transcurrido durante el ensayo min.

- Se calculó el porcentaje de desplazamiento lateral relativo: se realizó a lo largo de la superficie de falla (P_d).

$$P_d = \frac{d_h}{D} * 100$$

D = Diámetro o lado del espécimen en la dirección de corte mm.

8.2 INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos con las diferentes prácticas de laboratorio se procedió a analizar la arcilla bentonita respecto a su comportamiento cuando se adicionaron diatomeas; para ello, se evidenció con que porcentajes la mezcla aumentaba o disminuía en términos de resistencia y compresión, de los cuales, se pudo inferir algunas de las ventajas y desventajas de su uso, se tuvo como base las normas y especificaciones Invias 2013 que permitieron establecer la importancia y uso de un material de acuerdo a los parámetros estipulados en la misma.

Para realizar el análisis se procedió a leer los resultados de las prácticas de laboratorio descritas, anteriormente, como primera instancia se organizaron los datos obtenidos; en segundo lugar, se aplicaron las ecuaciones que exige la norma para trabajos de ingeniería civil y por último se registraron los resultados obtenidos.

8.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de la comparación y análisis de datos se procedió a dar conclusiones de las prácticas de laboratorio, de acuerdo a los datos y a la bibliografía utilizada en el desarrollo del proyecto, se definieron las ventajas, desventajas y recomendaciones de la utilización de las diatomeas en la arcilla bentonita, teniendo en cuenta el procedimiento de los laboratorios.

9. RESULTADOS

Realizar las siete prácticas de laboratorio con las catorce muestras de bentonita, de las cuales, trece tienen diferentes dosificaciones de diatomea, permitió una comparación de acuerdo de los datos tomados durante las pruebas de laboratorio y los cálculos que exige la norma.

9.1 DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS

Los datos de estas prácticas del laboratorio se pueden observar en la bitácora de hidrometría (Ver anexo 6), con los cuales se realizaron las diferentes ecuaciones ya presentadas en la metodología; la muestra 14 es la muestra patrón, es decir, solo tiene bentonita, para cada muestra se utilizó una dosificación diferente de diatomea (Ver anexo 7), con esta práctica se obtuvieron los diferentes resultados:

Tabla 3. Profundidad tomada por el hidrómetro

	Profundidad efectiva L (cm)						
Hidrometría	Minutos						
Muestras	2	5	15	30	60	250	1440
1	9,4	9,6	9,7	9,7	9,9	10,4	11,1
2	8,8	8,9	9,1	9,2	9,6	9,7	10,7
3	9,1	9,2	9,2	9,4	9,7	10,1	10,7
4	8,9	9,1	9,2	9,4	9,6	10,1	10,9
5	8,9	8,9	9,1	9,2	9,4	9,9	10,6
6	8,6	8,8	8,9	9,2	9,4	9,7	10,6
7	8,9	9,1	9,4	9,4	9,7	10,1	10,7
8	8,9	8,9	9,2	9,4	9,6	9,9	10,7
9	8,9	9,2	9,4	9,4	9,6	10,2	10,9
10	8,6	8,8	8,9	9,1	9,4	9,7	10,6
11	8,6	8,6	8,9	9,2	9,2	9,7	10,6
12	8,6	8,8	9,1	9,1	9,6	9,7	10,7
13	8,8	9,1	9,4	9,6	9,7	10,4	11,2
14	8,9	9,2	9,4	9,4	9,7	10,2	10,9

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

El hidrómetro tiene un factor de corrección (a) que se debe aplicar a la lectura según el valor de gravedad específica, la constante k depende tanto de la gravedad específica como de la temperatura de la suspensión. (Ver anexo 8).

Tabla 4. Diámetro de las partículas

	Diámetro de la partícula D (mm)						
Hidrometría	Minutos						
Muestras	2	5	15	30	60	250	1440
1	0,028	0,018	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001
2	0,029	0,019	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
3	0,029	0,018	0,011	0,008	0,005	0,003	0,001
4	0,030	0,019	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
5	0,027	0,017	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001
6	0,028	0,018	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001
7	0,029	0,018	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
8	0,031	0,019	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
9	0,029	0,019	0,011	0,008	0,005	0,003	0,001
10	0,028	0,018	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001
11	0,029	0,018	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
12	0,030	0,019	0,011	0,008	0,006	0,003	0,001
13	0,029	0,018	0,011	0,008	0,005	0,003	0,001
14	0,028	0,018	0,011	0,007	0,005	0,003	0,001

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Tabla 5. Porcentaje de partículas a la profundidad dada

	Porcentaje (%)						
Hidrometría	Minutos						
Muestras	2	5	15	30	60	250	1440
1	80,857	78,932	77,006	77,006	75,081	69,306	61,605
2	93,698	91,661	89,624	87,587	83,514	81,477	69,255
3	87,797	85,802	85,802	83,806	79,815	75,825	67,843
4	92,836	90,773	88,710	86,647	84,584	78,395	68,080
5	87,018	87,018	85,084	83,150	81,216	75,415	67,680

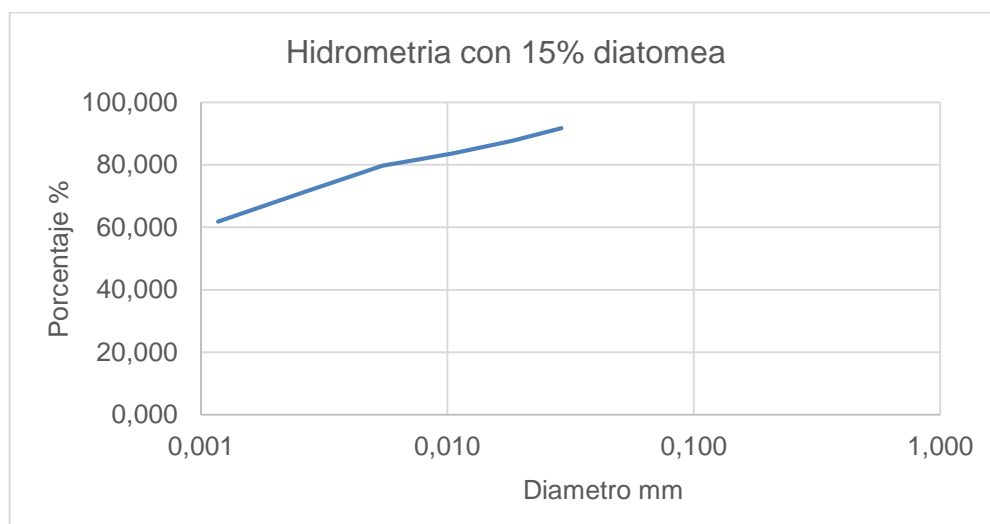
Tabla 5. Porcentaje de partículas a la profundidad dada

	Porcentaje (%)						
Hidrometría	Minutos						
Muestras	2	5	15	30	60	250	1440
6	66,967	65,542	64,117	61,268	59,843	56,993	49,869
7	90,141	88,137	84,131	84,131	80,125	76,119	68,106
8	94,455	94,455	90,257	88,158	86,059	81,861	71,366
9	90,275	86,263	84,257	84,257	82,250	74,226	66,202
10	93,173	91,191	89,208	87,226	83,261	79,296	69,384
11	96,358	96,358	92,258	88,157	88,157	82,007	71,756
12	97,789	95,708	91,547	91,547	85,305	83,225	70,741
13	91,747	87,758	83,769	81,775	79,780	71,802	61,830
14	88,311	84,386	82,423	82,423	78,498	72,611	64,761

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

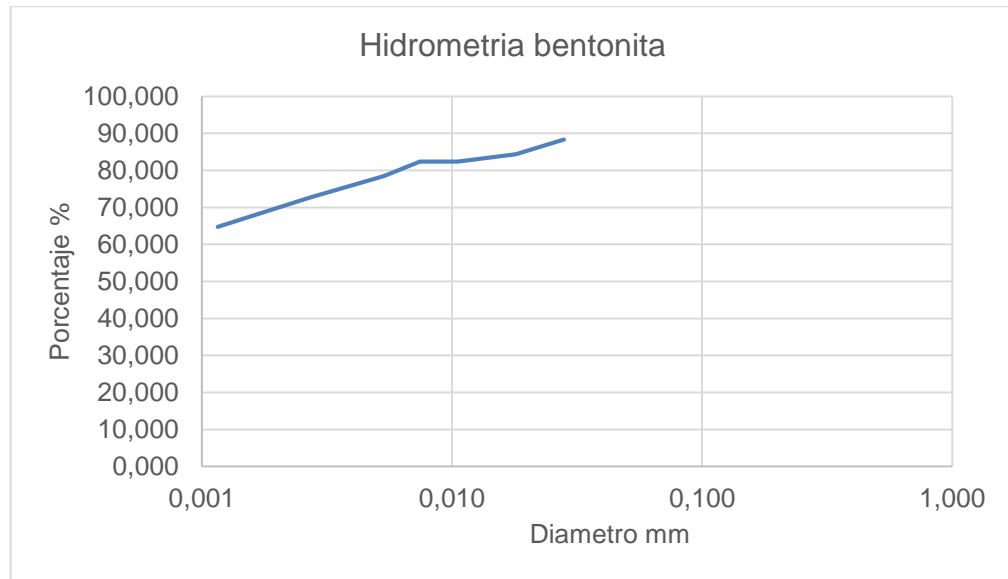
Una vez se tienen todos los datos se realizan las gráficas del diámetro mm y el porcentaje de finos (Ver anexo 9). A continuación, se muestran las gráficas de la bentonita y la misma adicionada con el 15% de diatomea.

Gráfica 1. Hidrometría de bentonita con 15% de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Gráfica 2. Hidrometría con bentonita



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

9.2 LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DE LA LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA.

Para este ensayo se emplea una muestra de 50g, utilizando bentonita y diatomea en diferentes dosificaciones (Ver anexo 7). Durante la práctica de laboratorio se tomaron los datos en base a lo experimental (Ver anexo 10). Para las catorce prácticas se emplearon dos picnómetros los cuales se calibraron como lo indica la norma (Ver anexo 11). A continuación, se pueden observar los resultados de los cálculos realizados para obtener la gravedad específica de las muestras.

Tabla 6. Cálculo gravedad específica

Muestras	Picnómetro usado	P. Picnómetro – Menisco (g)	Muestra seca (g)	Pw,t (g/cm3)	Mpw,t (g)	Gs
1	P2	1276,62	47,09	0,99825	1246,16	2,83
2	P2	1275,23	47,55	0,99825	1246,16	2,57
3	P1	681,35	49	0,99825	650,77	2,66
4	P1	680,45	49,17	0,99825	650,77	2,52
5	P1	682,66	49,52	0,99825	650,77	2,81
6	P1	682,48	49,44	0,99825	650,77	2,79
7	P2	1277,2	49,93	0,99825	1246,16	2,64
8	P2	1275,8	49,96	0,99825	1246,16	2,46
9	P2	1276,62	49,07	0,99825	1246,16	2,64
10	P2	1277,16	49,35	0,99825	1246,16	2,69
11	P2	1276,02	49,16	0,99825	1246,16	2,55
12	P2	1275,2	48,52	0,99825	1246,16	2,49
13	P2	1276,51	48,61	0,99825	1246,16	2,66
14	P1	681,99	49,2	0,99825	650,77	2,74

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

9.3 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

A partir de la práctica se tomaron los datos del laboratorio (Ver anexo 12), después de realizar los resultados basados en la norma Invias con el método multipunto, se procedió a graficar el número de golpes y el contenido de humedad para encontrar la humedad a los 25 golpes (Ver anexo 13); los resultados de limite liquido se pueden ver a continuación

Tabla 7 Límite liquido

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diatomea (%)	0,50	0,80	1	1,50	2	2,50	3	3,50	4	4,50	5	10	15	0
Límite liquido	338	379	419	384	355	347	426	367	380	402	382	352	367	396

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

9.4 LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

Los datos que surgieron a partir del laboratorio se pueden observar en la bitácora (Ver anexo 14), según los cálculos se determinaron los valores para límite plástico e índice de plasticidad.

Tabla 8 Límite plástico

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diatomea (%)	0,50	0,80	1	1,50	2	2,50	3	3,50	4	4,50	5	10	15	0
Límite plástico	45	35	35	49	52	40	32	41	40	41	42	40	48	43

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Tabla 9 Índice de plasticidad

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diatomea (%)	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	10	15	0
Índice de plasticidad	351	303	344	370	332	315	315	385	326	339	359	342	305	324

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

9.5 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS

Al empezar la práctica se deben determinar las dimensiones, el área, volumen y peso del anillo (Ver anexo 15). A continuación, se toman los datos de deformación que presenta la muestra luego de ponerla a diferentes cargas en diferentes intervalos de tiempo (Ver anexo 16), y se procede a realizar los cálculos establecidos en la norma INVIAS arrojando los siguientes valores de deformación axial (ϵ) y esfuerzo axial (σ) para cada tipo de muestra ensayada.

Tabla 10. Datos obtenidos de consolidación unidimensional

		Tiempo										
Muestra		1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
1	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,48	0,72	1,08	1,69	3,38	5,07	11,84	12,08
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001145										
2	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,45	0,72	1,08	1,69	3,3	5,07	11,78	12,08
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001206										
3	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,54	0,72	1,08	1,69	3,26	5,07	11,72	12,08
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001244										
4	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,54	0,60	1,08	1,57	2,78	5,07	11,48	11,72
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001433										
5	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	1,02	1,57	2,65	5,07	11,48	11,60
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002051										
6	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,96	1,57	2,65	5,07	11,48	11,60
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002613										
7	ε (%)	0,12	0,22	0,36	0,45	0,60	0,96	1,57	2,65	5,07	10,88	11,12
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001304										

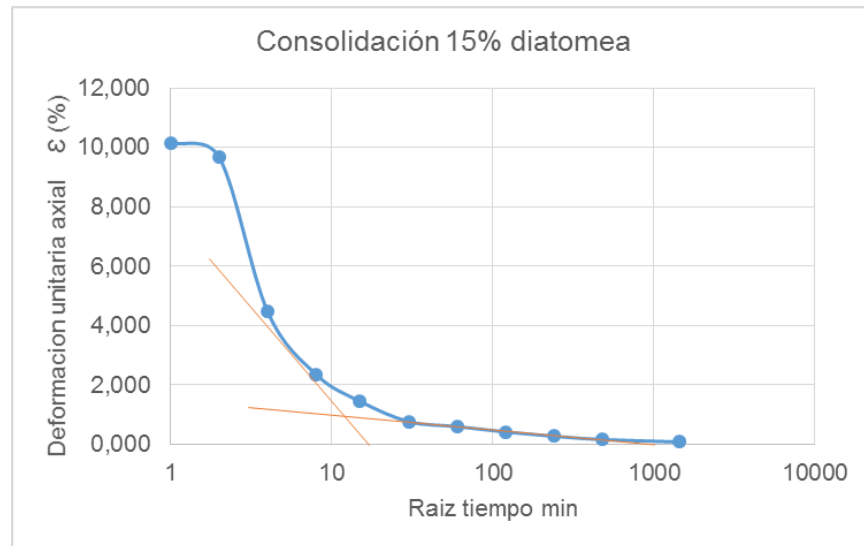
Tabla 10. Datos obtenidos de consolidación unidimensional

		Tiempo										
Muestra		1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
8	ε (%)	0,12	0,20	0,35	0,45	0,60	0,84	1,57	2,65	5,07	10,88	11,00
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001795										
9	ε (%)	0,12	0,19	0,35	0,45	0,60	0,83	1,57	2,53	4,71	10,88	11,00
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,001795										
10	ε (%)	0,12	0,18	0,32	0,45	0,60	0,83	1,57	2,41	4,71	10,82	10,88
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002212										
11	ε (%)	0,09	0,16	0,30	0,44	0,60	0,78	1,45	2,35	4,47	9,79	10,27
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002053										
12	ε (%)	0,12	0,16	0,32	0,43	0,60	0,82	1,57	2,29	4,71	10,27	10,51
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002397										
13	ε (%)	0,08	0,16	0,27	0,42	0,60	0,77	1,45	2,35	4,47	9,67	10,15
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,002054										
14	ε (%)	0,12	0,24	0,36	0,48	0,84	1,08	1,81	3,62	5,07	12,09	12,21
	σ (Kpa)	1085	1116	1116	1162	1239	1393	1701	2317	3549	6013	10941
	Cv	0,0014324										

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

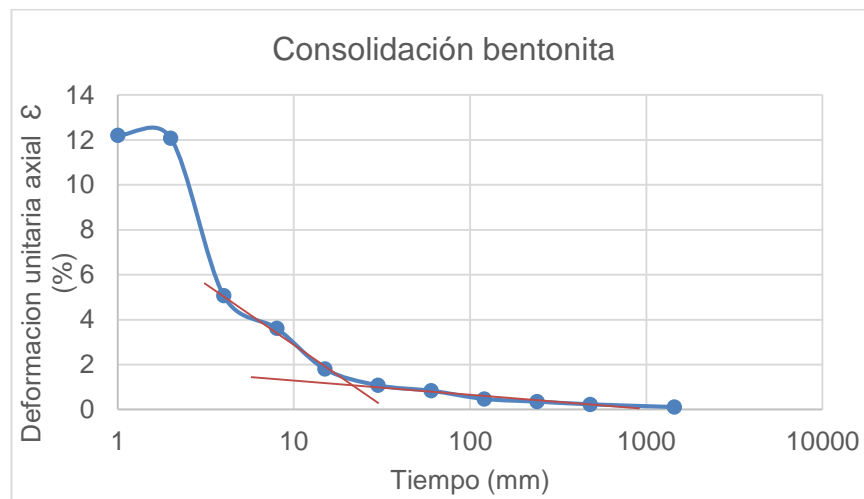
Según los datos hallados anteriormente, se realizó una gráfica tiempo vs deformación para cada dosificación, a continuación, se presentarán las gráficas del 15 % de diatomea y 0 % de diatomea, para las demás graficas (ver anexo 17).

Gráfica 3. Consolidación de bentonita con 15% de diatomea



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Gráfica 4 Consolidación con 0% de diatomea



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

9.6 COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

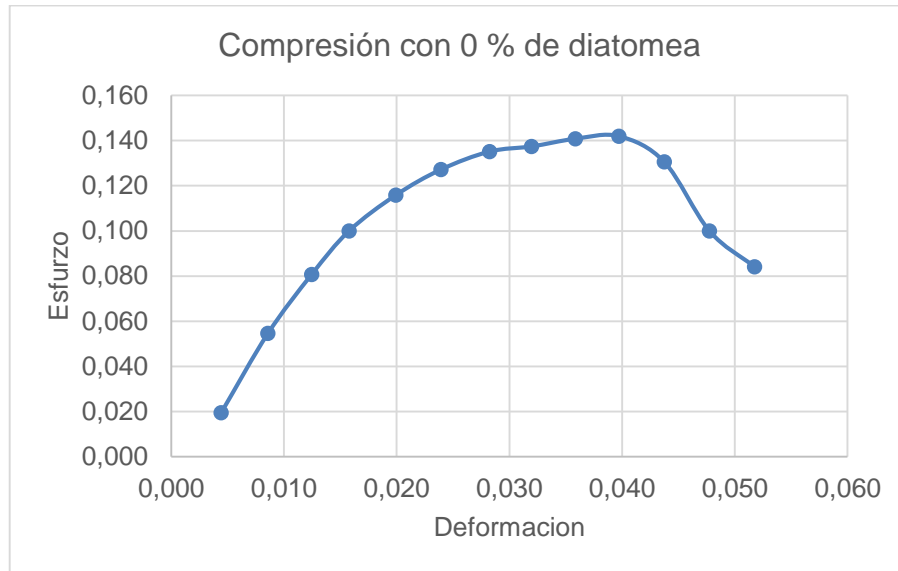
Al realizar la práctica se tomaron las dimensiones de los cilindros a ensayar, luego de esto se anotan los datos arrojados por la máquina de compresión y el deformímetro, para generar los valores de deformación y esfuerzo siguiendo los pasos de la norma, y con las ecuaciones descritas en la metodología; a continuación, se realiza una gráfica con los valores ya calculados y se presenta una ilustración de la falla creada en la muestra. Para las dosificaciones de 15% y 0% de diatomea se muestra el contenido, cálculos e ilustraciones a continuación, para las demás dosificaciones (Ver anexo 18).

Tabla 11. Cálculos compresión de bentonita

14. Bentonita sin adición de diatomea					
Cilindro			Área transversal (mm ²)		880,187736
Altura (mm)	72,25		Área transversal (m ²)		0,88018774
Diámetro (mm)	33,56				
Peso (g)	98,78				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e ₁ (%)	Área corregida (m ²)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,0	0,003	0,004	0,8802	0,019
1,0	0,0	0,006	0,009	0,8803	0,055
1,5	0,1	0,009	0,012	0,8803	0,081
2,0	0,1	0,011	0,016	0,8803	0,100
2,5	0,1	0,014	0,020	0,8804	0,116
3,0	0,1	0,017	0,024	0,8804	0,127
3,5	0,1	0,020	0,028	0,8804	0,135
4,0	0,1	0,023	0,032	0,8805	0,137
4,5	0,1	0,026	0,036	0,8805	0,141
5,0	0,1	0,029	0,040	0,8805	0,142
5,5	0,1	0,032	0,044	0,8806	0,131
6,0	0,1	0,035	0,048	0,8806	0,100
6,5	0,1	0,037	0,052	0,8806	0,084

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Gráfica 5. Compresión de bentonita



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Figura 26. Falla de la bentonita



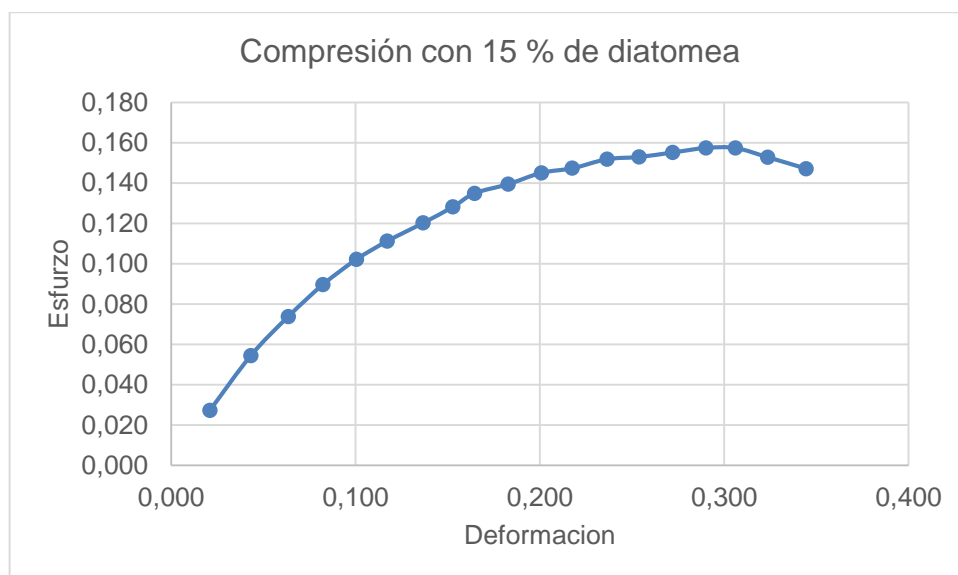
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Tabla 12. Cálculos compresión con 15% de diatomea

13. Bentonita con diatomea 15%					
Cilindro			Área transversal (mm ²)		876,68555
Altura (mm)	71,7				
Diámetro (mm)	33,26		Área transversal (m ²)		0,87668555
Peso (g)	92,49				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m ²)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,024	0,015	0,021	0,8804	0,027
1	0,048	0,031	0,043	0,8806	0,055
1,5	0,065	0,0455	0,063	0,8807	0,074
2	0,079	0,059	0,082	0,8809	0,090
2,5	0,09	0,072	0,100	0,8811	0,102
3	0,098	0,084	0,117	0,8812	0,111
3,5	0,106	0,098	0,137	0,8814	0,120
4	0,113	0,1095	0,153	0,8815	0,128
4,5	0,119	0,118	0,165	0,8816	0,135
5	0,123	0,131	0,183	0,8818	0,139
5,5	0,128	0,144	0,201	0,8820	0,145
6	0,13	0,156	0,218	0,8821	0,147
6,5	0,134	0,1695	0,236	0,8823	0,152
7	0,135	0,182	0,254	0,8824	0,153
7,5	0,137	0,195	0,272	0,8826	0,155
8	0,139	0,208	0,290	0,8827	0,157
8,5	0,139	0,2195	0,306	0,8829	0,157
9	0,135	0,232	0,324	0,8830	0,153
9,5	0,13	0,247	0,344	0,8832	0,147

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Gráfica 6 Compresión de la bentonita con 15% de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Figura 27. Falla de la bentonita con 15% de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

9.7 ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN CONDICIÓN CONSOLIDADA DRENADA

Para este ensayo se deben tomar inicialmente las dimensiones del anillo que es la base para calcular el área y el volumen de la muestra (Ver anexo 19), luego de poner la muestra en la máquina de corte esta va mostrando los datos obtenidos del tiempo, carga aplicada, desplazamiento horizontal y vertical para cada muestra ensayada con cada una de las dosificaciones (Ver anexo 20). A continuación se muestran los valores del esfuerzo cortante nominal (τ), la velocidad de desplazamiento máxima (Rd) y el porcentaje del desplazamiento lateral efectivo (pd) que se obtuvo para realizar un corte de 13 mm en las muestra.

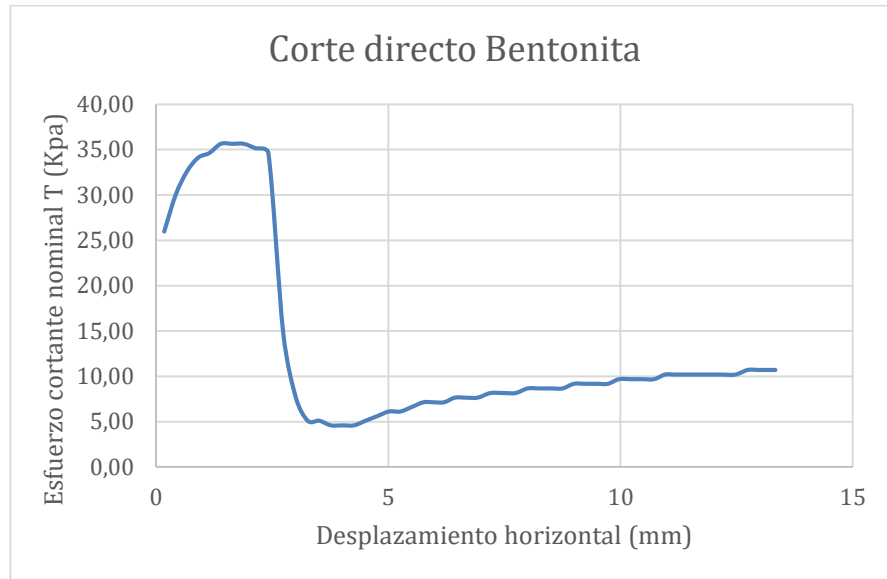
Tabla 13. Resultados corte directo

Muestra	T (Kpa)	Rd (mm/min)	Pd (%)
1	17,32	0,49	26,30
2	16,04	0,49	26,27
3	23,43	0,49	26,38
4	14,77	0,49	26,24
5	6,11	0,48	26,10
6	5,09	0,49	26,25
7	4,07	0,49	26,40
8	2,80	0,49	26,35
9	1,53	0,49	26,29
10	4,58	0,49	26,29
11	7,64	0,49	26,30
12	6,11	0,49	26,37
13	4,58	0,49	26,44
14	10,70	0,49	26,67

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

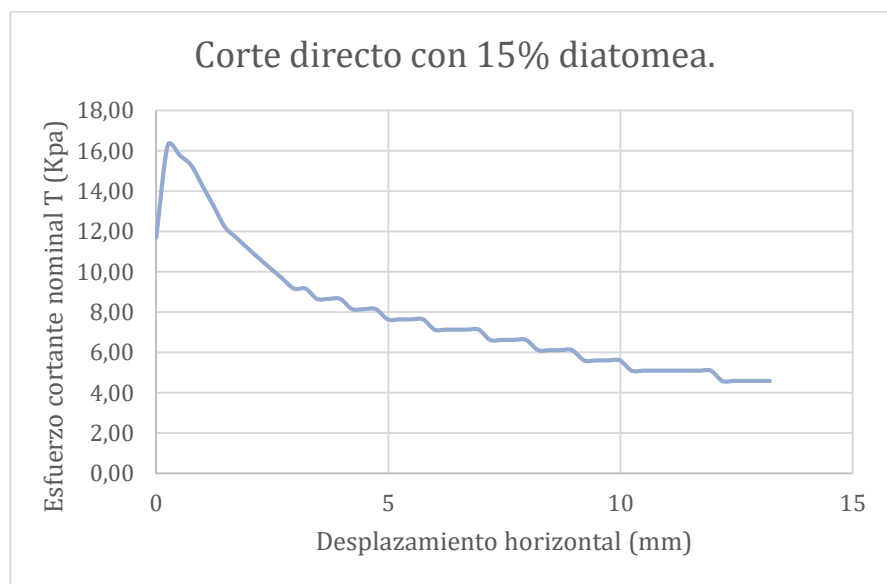
Con los datos obtenidos en el laboratorio y los calculados se realiza una gráfica de desplazamiento horizontal vs esfuerzo nominal para cada una de las dosificaciones (Ver anexo 21), se muestran las de 0% y 15% a continuación.

Gráfica 7. Corte directo de la bentonita



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Gráfica 8. Corte directo bentonita con 15% de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

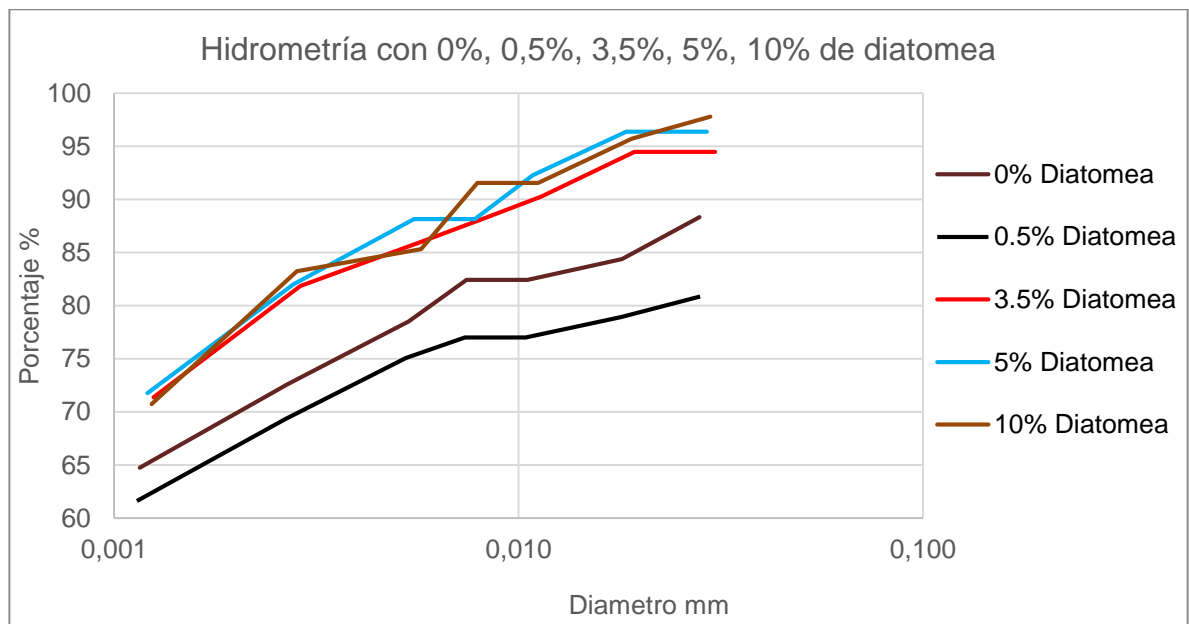
10. ANALISIS DE RESULTADOS

Al realizar el ensayo de hidrometría se observan los valores de la profundidad efectiva (L) evidenciando que los valores oscilan entre 8,6 cm a 11,2 cm cuando se ha adicionado diatomea a la muestra, realizando la práctica con bentonita los valores van desde 8,9 cm a 10,9 cm.

El diámetro de las partículas de bentonita varía desde 0,001 a 0,028 mm, al agregar diatomea se encontró un comportamiento similar, a diferencia de la muestra 8 que corresponde a 3,5% de diatomea con un diámetro de 0,001 a 0,031 mm y la muestra 13 que corresponde a 10% de diatomea con un diámetro de 0,001 a 0,03 mm, estas diferencias de diámetros se encontraron desde los 2 a los 1440 minutos.

El porcentaje de finos de la bentonita oscila entre 88,3% a 64,76%, mientras que la bentonita con adición de diatomea puede tener un porcentaje de finos entre 61,61% y 97,79%. Esto se puede evidenciar en la gráfica que se muestra a continuación, la cual representa cada una de las dosificaciones nombradas anteriormente, para identificar los cambios que son más relevantes luego de ensayar cada una de las muestras.

Gráfica 9. Hidrometría de bentonita con diferentes adiciones de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

La gravedad específica calculada para la bentonita es de 2,74 y con la adición de diatomea esta característica oscila entre 2,46 y 2,83. En la tabla que se muestra a continuación se evidencia que las dosificaciones de 0% 0,5% 2% y 2,5% de diatomea que presentan una gravedad específica entre 2,72 y 2,8 se identifican como arcilla. Las dosificaciones de 0,8% 1,5% 3,5% 5%10% se identifican con la gravedad específica de una arcilla aluvial orgánica.

Tabla 14. Características de la densidad de los suelos.

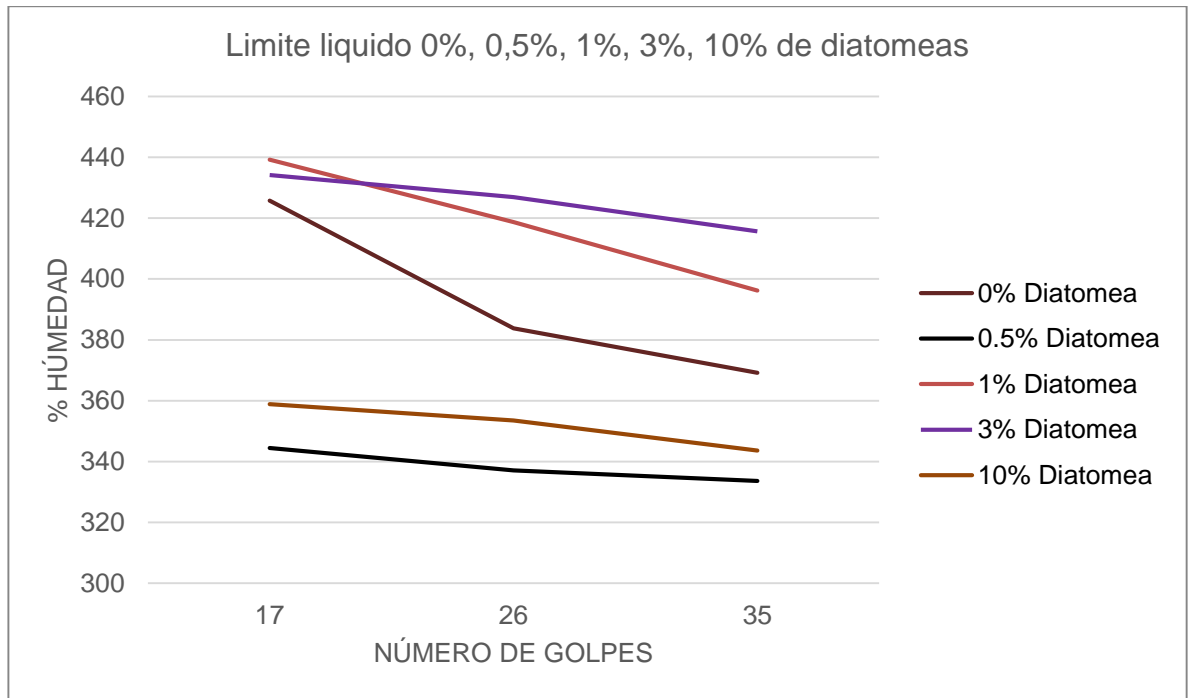
<i>Tipo de suelo</i>	<i>Densidad de sólidos</i>
Grava	2.65
Arena media a gruesa	2.65
Arena fina limosa	2.65
Loess, polvo de roca y limo-arenoso	2.67
Arena arcillosa	2.65
Limo arenoso	2.66
Limo	2.67-2.70
Limo arcilloso	2.68
Arena-limo-arcilla	2.69
Limo arcilla	2.71
Arcilla arenosa	2.7
Arcilla limosa	2.75
Arcilla	2.72-2.80
Limo con materia orgánica	2.3
Arcilla aluvial orgánica	2.13-2.60
Turba	1.50-2.15

Fuente: DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014. p.45.

El límite líquido para la bentonita es de 396, pero con la adición de diatomea este resultado disminuye, pero sin tendencia, esto se evidencia en la tabla No. 7; exceptuando la adición al 1%, 3% y 10% de diatomea, donde los valores son más altos que la propia bentonita.

En la siguiente grafica se observa el porcentaje de humedad obtenido en los diferentes golpes que se presentaron, observando que la muestra con el 0.5% de diatomea es la más constante en los tres números de golpes presentados, siendo así, la que contiene menor porcentaje de humedad; la muestra con el 0% de diatomea presenta un cambio más notorio entre los 15 y los 35 golpes ya que disminuye su contenido de humedad de un 426% a 369%.

Gráfica 10. Límite líquido con bentonita con diferentes adiciones de diatomea

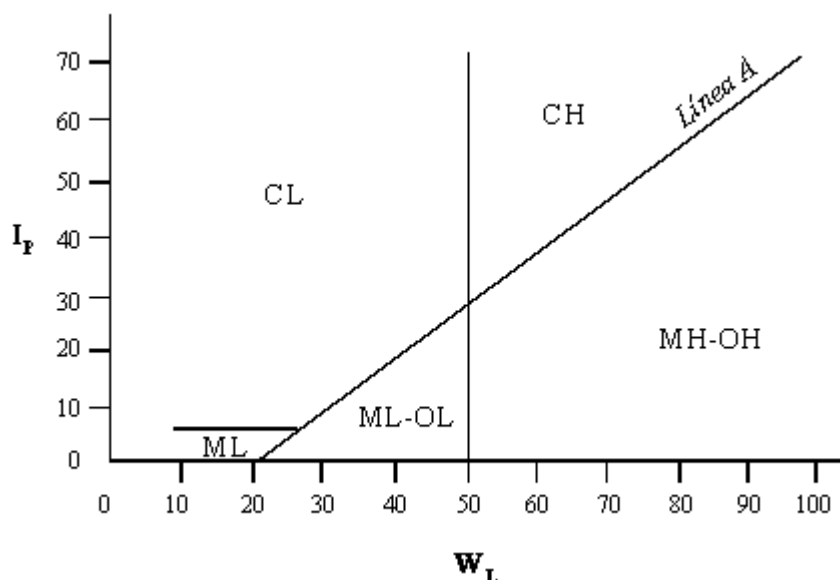


Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Para límite plástico la bentonita tuvo un valor de 43, en las muestras de bentonita con adición de diatomea este límite tiende a disminuir, sus valores dan de 32 a 42, con excepción de los porcentajes de diatomea al 0,5 1,5% 2% y 10% que dan valores mayores al límite plástico de la bentonita.

Con los valores de límite líquido e índice de plasticidad se clasifican las muestras con la carta de plasticidad de Casagrande, que determina para una arcilla de alta plasticidad (CH) cuando el límite líquido es mayor a 50 y el índice de plasticidad es mayor a 60, con ello se corrobora que la bentonita es una arcilla de alta plasticidad, aun con el contenido de diatomea. La bentonita tiene un límite de esa magnitud, debido a la capacidad que tiene de hincharse al absorber agua.

Gráfica 11. Carta de plasticidad de Casagrande



Fuente: Frankie, estudios geotécnicos.

[En línea] Disponible en: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>

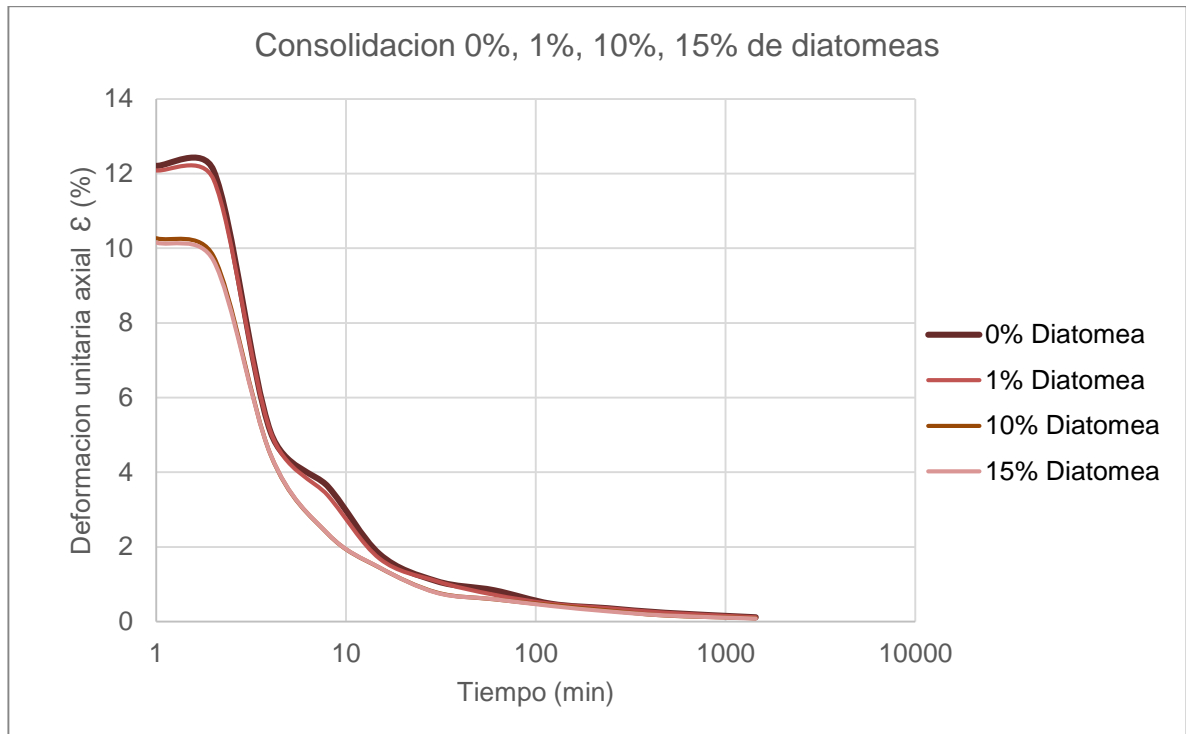
Al realizar la consolidación de las 14 muestras se puede observar el asentamiento que se produce, dando como resultado el cambio de altura, en la bentonita sin adición de diatomeas el asentamiento producido es de 0,256 cm a una velocidad de 0,000178 cm/min.

Al comparar estos datos con las diferentes dosificaciones se evidencia que al agregarle 10% y 15% de diatomea a la arcilla el asentamiento disminuye, debido a que, el cambio en la altura de la muestra es de 0,2158cm con una velocidad de 0,00015 cm/min y 0,21326 cm con una velocidad de 0,000148 cm/min. Estos datos fueron estimados en un tiempo de 24 horas.

Se puede evidenciar que el asentamiento entre la bentonita sin adición de diatomeas y el de bentonita con adición de 15% de diatomeas, disminuye en un 16,84%.

En la consolidación con las diferentes muestras se evidencia una disminución en la deformación unitaria axial a medida que se aumenta el porcentaje de diatomea. En los porcentajes del 0% al 1% de diatomea se presenta un pico alrededor de los 10 min y se aumenta la deformación unitaria axial.

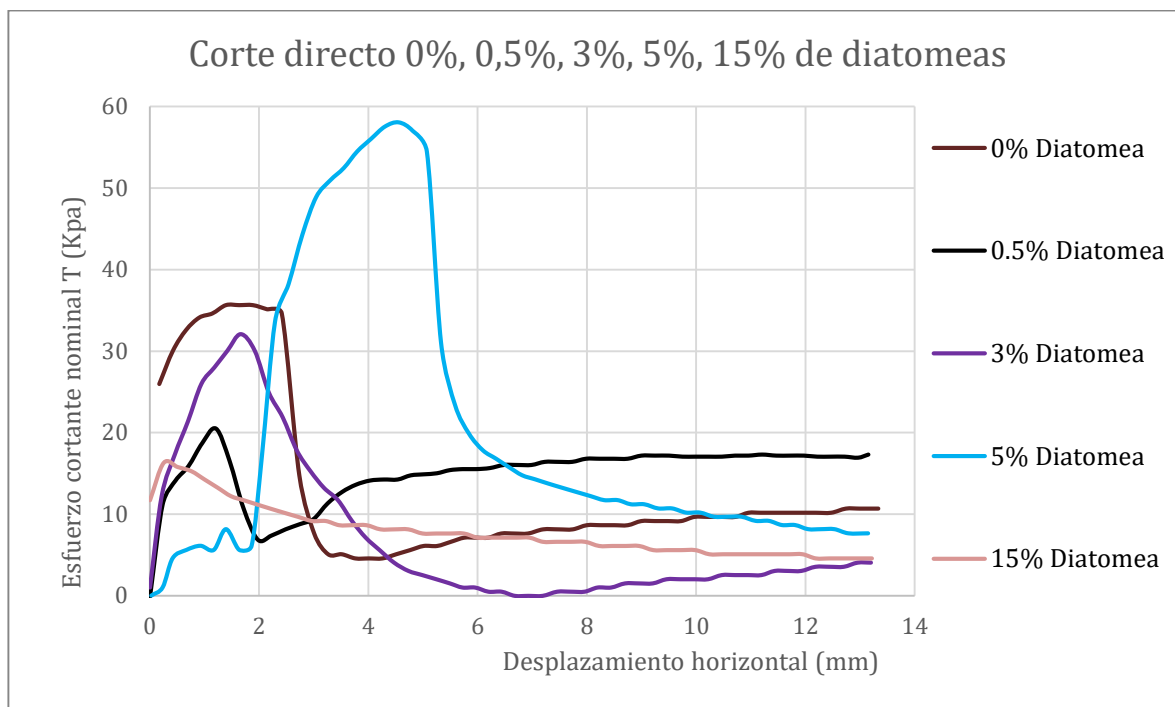
Gráfica 12. Consolidación unidimensional de la bentonita con adiciones de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Para corte directo se observa en la muestra patrón que es la bentonita sin adición de diatomeas, el porcentaje de desplazamiento de 26,67% con un esfuerzo cortante de 10,7 Kpa. Al evaluar las diferentes dosificaciones el porcentaje de desplazamiento presenta un comportamiento similar, debido a que, oscila entre 26,67 y 26,1 %, aunque el esfuerzo si varía dependiendo el porcentaje de diatomea que se le agrega a la bentonita, mostrando así, los cambios en la gráfica que se muestra a continuación; en el rango de desplazamiento entre 0-6 mm se presentan variaciones significativas siendo relevante la muestra 11, debido a que, se evidencia que al agregar el 5% de diatomea soporta un esfuerzo cortante de 58.06 Kpa, siendo esta la dosificación con la mayor resistencia al corte. En el rango de desplazamiento de 6-13mm el comportamiento de todas las muestras es similar soportando un esfuerzo cortante entre 0-23.43 Kpa.

Gráfica 13. Corte directo de la bentonita con adiciones de diatomea



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

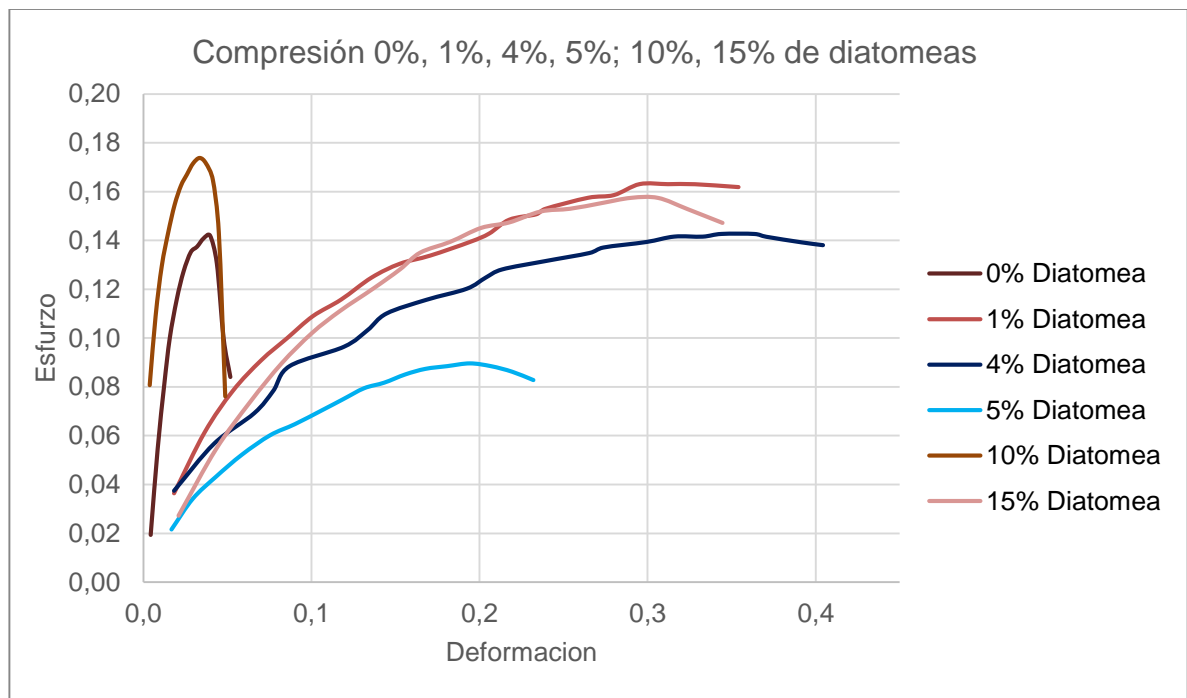
Luego de ejecutar el ensayo de compresión incofinada se evidencia en la muestra 12 con la adición del 10% de diatomea, que se obtiene la mayor carga última de 151N generando un porcentaje de deformación de 0,037% en el cilindro fallado. La muestra 11 con la adición de diatomea del 5% es la que obtiene la menor carga última de 79N generando una deformación de 0,194%.

Al tener la muestra de la bentonita sin adición de diatomeas con una carga última de 125N y un porcentaje de deformación de 0,04, se puede decir que la muestra 12 presenta un mejor comportamiento soportando un esfuerzo del tanto 17,22% mayor, aunque la muestra 11 es menos eficaz, debido a que resiste un esfuerzo del tanto 36,9% menor con respecto a la muestra patrón.

Las dosificaciones del 0,5% 0,8% 1,5% 2% 2,5% 3% 3,5% 4% 4,5% 5% de diatomea resisten un esfuerzo menor al de la muestra patrón, y las dosificaciones de 1% 10% y 15% obtienen una mayor resistencia ya que soportan una carga última mayor a la que se tiene en la muestra patrón; se evidencia, que con menores porcentajes aumenta el esfuerzo cortante.

En la siguiente grafica se representa la deformación obtenida en las muestras ensayadas que generaron un comportamiento diferente a las demás, según el esfuerzo aplicado. Se puede observar cada uno de los datos mencionados y su comportamiento; con las muestras al 1% y 10% de diatomea se evidencia por medio de los picos que hay un mayor esfuerzo con menor deformación a comparación de las otras muestras; mientras que la del 4% tiene el mayor valor de deformación y la muestra con 5% presenta el menor valor de esfuerzo para contener la falla.

Gráfica 14. Compresión inconfiada de la bentonita con adiciones de diatomea



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

11. CONCLUSIONES

Realizando el ensayo de hidrometría, se evidenció que la muestra con mejor comportamiento fue la de bentonita con 10% de diatomea, ya que, tiene 97.79% de partículas con un diámetro de 0,03mm, el cual es el mayor tamaño de partículas encontrado en los diferentes ensayos realizados. La práctica de gravedad específica presenta en las muestras de bentonita con las adiciones del 0,5% 2% y 2,5% de diatomea, no presentan materia orgánica en su composición, por lo tanto, tienen como ventaja que pueden ser usadas en cimentaciones.

En el ensayo de los límites de Atterberg la muestra menos plástica fue la bentonita con la adición al 0,5% de diatomea, la cual se recomienda usarse en geotecnia, debido a que, el índice de plasticidad menor. El menor índice de plasticidad presentado en esta investigación fue el de 305% de la bentonita con el 0,8% de diatomea, debido a esto, la muestra presenta menor volumen de agua que las otras, siendo así, la más eficaz para usos en geotecnia.

Al realizar el ensayo de consolidación unidimensional se pudo evidenciar que la muestra que presenta menor asentamiento es la bentonita con la adición de 15% de diatomea, debido a que, tiene la menor deformación unitaria, la cual es de 10,15%.

En el ensayo de corte directo la muestra de bentonita con el 5% de diatomea, es la que soporta más carga al deformarse, teniendo así, mayor resistencia al corte. En el ensayo de compresión inconfiada la muestra que resiste mayor esfuerzo antes de presentar la falla es la bentonita con el 10% de diatomea, que soporto la mayor carga que fue de 151 N; siendo así, la más eficaz al realizar obras de ingeniería.

La bentonita con adición de 5%, 10% y 15% de diatomea presentaron mejor comportamiento a diferencia de las otras dosificaciones en los ensayos realizados, por lo tanto, se puede decir que la muestra con estas adiciones de diatomea a comparación de la bentonita, produce beneficios y ventajas en el comportamiento físico mecánico de la arcilla, debido a que, disminuyeron los asentamientos, resistieron mayor esfuerzo al corte y soportaron mayor carga antes de producir la deformación que conlleva a fallas y fisuras.

Para realizar el ensayo de corte directo no es preciso realizar la consolidación primaria de la muestra, ya que, al suelo no se le extraen los vacíos antes de efectuar las obras de ingeniería, por este motivo, el valor de carga ultima que determina el ensayo no es totalmente confiable, siendo así, una desventaja en la precisión de los valores de corte directo en condición drenada sin pre consolidación.

Esta investigación permite afianzar el conocimiento, ya que se busca implementar soluciones innovadoras en los suelos arcillosos del país, para evitar problemas de asentamientos y obtener mayor capacidad portante, de esta manera, se favorecen los suelos y las cimentaciones de las obras de ingeniería.

Implementar la adición de las diatomeas en diferentes dosificaciones a la bentonita tiene como desventaja, que en la mayoría de los casos no se presentan mejoras en la arcilla o las variaciones son muy bajas, aunque en algunas de las muestras se produce un cambio notorio este no es constante en todos los ensayos de laboratorio, determinando así que, es efectivo para algunos comportamientos físico mecánicos como la resistencia del suelo; pero la arcilla aún puede contener gran cantidad de agua la cual al drenarla produce afectaciones en las construcciones que se realicen sobre este tipo de suelo.

12. RECOMENDACIONES

La bentonita al agregarle diatomeas cambia su comportamiento físico-mecánico presentando ventajas para mejorar la capacidad portante de la arcilla, aunque si se realiza la estabilización de esta arcilla con diatomeas de México presenta un mayor costo en el proceso. Por tanto, se recomienda realizar investigaciones con diatomeas colombianas que contengan una inversión económica más baja u otros procedimientos que puedan ayudar a mejorar el suelo arcilloso de alta plasticidad.

Se recomienda no realizar el ensayo de consolidación ya que entrega un dato muy general a lo que se puede comportar el suelo y tiene una duración de 24 horas para cada muestra que se desea ensayar, de este modo el tiempo invertido se ve afectado al no obtener un resultado preciso.

Al comparar los resultados de esta investigación con los de otros estudios, se puede observar que, con dosificaciones mayores se encuentran mejores resultados en las arcillas, aunque estos estudios están realizados respecto al comportamiento de la caolinita la cual es otro tipo de arcilla. Respecto a lo anterior, sería interesante realizar una investigación con los porcentajes del 5,5% al 14,5%, con diferencias entre las muestras del 5%, para así, poder comparar su comportamiento físico-mecánico entre las dosificaciones evaluadas en el presente trabajo y unas mayores establecidas.

Al realizar los ensayos de laboratorio descritos en el presente trabajo se recomienda tener cuidado con la precisión de cada una de las máquinas y recursos a utilizar, debido que, al cometer un error en alguno de los procedimientos conlleva a repetir el ensayo, generando así, mayor tiempo en las prácticas de laboratorio y/o en los datos obtenidos, perjudicando los factores que se evaluarán del comportamiento del suelo para realizar los proyectos de ingeniería.

Se recomienda realizar una revisión más extensa de la bibliografía, debido a que existen diferentes investigaciones con objetivos interesantes que no están descritas en el presente trabajo, ya que, el tema de diatomeas y bentonitas combinadas presenta antecedentes escasos, el contenido de algunos documentos no tenía los aspectos requeridos para este estudio; sin embargo, son referencias que vale la pena tener en cuenta para realizar futuras investigaciones.

13. REFERENCIAS

1. Ávila Álvarez, Guillermo. Agencia de noticias UNAL. [En línea] 10 de septiembre de 2012. Disponible en:
<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/cat/video/article/suelos-arcillosos-de-bogota-proclives-al-hundimiento.html>.
2. BARBOSA, Cristian y ROMERO, Stid. Determinación de la superficie específica en suelos caoliníticos y bentónicos mediante la aplicación de adsorción de azul de metileno aplicando diferentes gradientes térmicos. Bogotá D.C, Colombia. 2017. 67p. Trabajo de grado (para optar al título de Ingeniero Civil) Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería
3. BERNARDO, Caicedo, *et al.* Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá. Colombia. En: Journal of rock mechanics and geotechnical engineering, 2018. Vol. 10 pág. 367-379.
4. BORGEL, Iván. Caracterización del yacimiento de diatomita de Loma Larga, municipio de Alcatlán, Hidalgo y evaluación de sus aplicaciones alternas. Hidalgo. 2007. Trabajo de Investigación (Ingeniero minero – metalúrgico). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área académica de Materiales y Metalurgia.
5. CABALLERO, Margarita. Diatomeas: división Bacillariophyta - UNAM. [En línea] Disponible en:
http://www.geofisica.unam.mx/iframes/laboratorios/institucionales/paleolimnologia/sitio_web/diatomeas.html.
6. CAICEDO, B; ZULUAGA y D and SLEBI C. Characterization parameters and mechanical response in diatomaceous soil depending on species. Bogotá D.C.: 2016.
7. CAMACHO, Jaime y CELADA, Carlos. Definición de Zonas Potenciales para Esmeclitas en los Departamentos del Valle del Cauca, Tolima y Caldas. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Geología y Energía, 2004.
8. CAMACHO, Javier Fernando; *et al.* Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas. En: Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 16. Número 2. (Dic, 2006)

9. CARRIAZO, José; *et al.* Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. En: Revista UNAL Tomo 36, N°2. 2007. Pág. 213-225.
10. CARRIAZO, José; TORRES, J y ENSUNCHO, A. Estudio de la intercalación de polianilina en minerales de arcilla para formar materiales micro-compuestos. En: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica Vol 15. Número 2. (2012). 481-489 Págs.
11. COLÍN GARCÍA, María, et al. Sílice de las algas diatomeas (clase bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. En: La Granja, Revista de Ciencias de la Vida. (Feb. 2013)
12. CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5ª ed. México: Editorial Limusa S.A. 2004. ISBN
13. CRUZ VELASCO, Lucio Gerardo. Mecánica de suelos 1 [Diapositivas]. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca. 45 diapositivas.
14. DAY, Robert. Engineering properties of diatomaceous fill. American Geotechnical, New York: ASCE. 1995.
15. DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Comportamiento monotónico de suelos diatomáceos. En: Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol 12 (2011). 8p.
16. DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Los suelos Volcánico-lacustres de la ciudad de México. Ciudad de México. 43p.
17. DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. Mecánica de suelos: Naturaleza y propiedades. México D.F.: Editorial Trillas S.A., 2014.
18. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Bentonita. Coordinación General de Minería. (2013).
19. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Diatomita. México. Coordinación General de Minería, 2013.
20. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO. Perfil de Mercado de la Diatomita. México. Subsecretaría de Minería, 2017.
21. DOMÍNGUEZ, Elvis. Estabilización de un Suelo Dispersivo mediante Zeolita Micronizada. La Habana. 2009. 93p. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Facultad de Ingeniería
22. DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 2017.

23. FERNÁNDEZ LINARES, Luis Carlos; *et al.* Producción de Biocombustibles a partir de Microalgas. En: Ra Ximhai. Vol 8. Número 3. (2012). 15 págs.
24. GARCÍA, Daniel. Pruebas de laboratorio de lodos fraguantes y propuesta de utilización en la ingeniería civil. México D.F. 2013. 88p. Trabajo de Investigación (Para obtener el título de ingeniero civil). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
25. GARCÍA, Emilia y SUÁREZ Mercedes. Las arcillas: propiedades y usos. Madrid. Universidad Complutense y Universidad de Salamanca. 25p.
26. IM Staff. *Soaking it up: bentonite's global reach*. En: Industrial Minerals Magazine June Issue. (May, 2016). 12págs.
27. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, Trabajo de grado y otros Trabajos de investigación. NTC – 1486. Bogotá D.C. Icontec. 2008. 41 págs.
28. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias Bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC-5613. Bogotá D.C. Icontec. 2008. 33 págs.
29. INSTITUTO DE GEOCIENCIAS. Clasificación de las rocas. Ciudad Ciencia [En línea] Disponible en: http://www.ciudadciencia.es/doc/files/FICHA_CLASIFICACION%20DE%20ROCAS_CC.pdf.
30. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS-INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá D.C.: INVIAS, 2013. 798p.
31. KALE, Aditi and KARTHICK, Balasubramanian. The Diatoms. Big Significance of Tiny Glass Houses. In: Journal Resonance. (Oct, 2015).
32. LARGO, Diana y VILLAMARIN, Katherine. Caracterización y activación química de arcilla tipo bentonita para su evaluación en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales. Pereira. 2013. Trabajo de grado (Química Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías.
33. LEAL, Sylvia; *et al.* La Diatomeas Bentónicas como fuente de alimento en el cultivo larvario de Camarón y otros Organismos Acuáticos. Monterrey, México. 2010.


34. LIU, Jun; SHAO, Peng and WANG, Shihao. The influence of diatomite on the strength and microstructure of portland cement. China. EDP Sciences, 2016 tomo 67.
35. LÓPEZ, Jorge. Comportamiento cíclico de suelos diatomáceos. México. 2009. 268p. Trabajo de Grado (Maestro en Ingeniería- Ingeniería Civil Geotécnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
36. MARTÍN, Azucena. El alga de las “mil” aplicaciones: todo sobre las diatomeas. [En línea] Mayo 2016. Disponible en: <https://omicrono.elespanol.com/2016/05/diatomeas-algas/>
37. MASANORI Tanaka; *et al.* Influences of Diatom Microfossils on Engineering Properties of Soils. Japón: Japanese Geotechnical Society, 2002 42 vol 3 p. 1-17.
38. MENDIZABAL, Mauricio. Mejoramiento de suelos Escuela Militar de Ingeniería. [En línea] 2014. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/236823111/Mejoramiento-de-Suelos>
39. MENDOZA, Cristhian; *et al.* Behavior of diatomaceous soil in lacustrine deposits of Bogotá, Colombia. En: Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. October 2018.
40. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C., 2003. 168p
41. MOYA, Julio. El subsuelo de Bogotá y los problemas de cimentaciones. En: I Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras. Colombia: 1987. pág. 197-221.
42. NAVA TRISTÁN, Oliver Elimelec. Influencia de las diatomeas en la resistencia al corte de caolín. México D.F. 2007. 108p. Trabajo de grado (Para optar al título de maestro en Ingeniería civil – geotécnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
43. NEIRA, Gustavo; PINILLA, Alirio y HENAO, José. Arcilla Bentonítica modificada con quitosano para materiales compuestos biodegradables. Universidad Industrial de Santander. [En línea] 2011. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/27864/2/25763-162747-1-PB.html>
44. PARRADO, Breidy y TOLOZA, Julieth. Determinación de la superficie específica en suelos caoliníticos y bentoníticos mediante la técnica de adsorción de agua destilada aplicando diferentes gradientes térmicos. Bogotá D.C. 2017. 106p.

Trabajo de Grado (Ingeniero Civil) Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

45. RAMIREZ, José. Evaluación Geológica de Diatomitas en la Cuenca Ayacucho y sus Implicancias Económicas. Lima, 2012, 117 Pags. Trabajo de Investigación (Profesional de Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.
46. SADREKARIMI, A. y OLSON, S. Critical state friction angle of sands. En: Geotechnique No.9. 2011. p. 771-783
47. SALAMANCA, Dania y AHUMADA, Víctor. Evaluación de los parámetros de consolidación con grandes deformaciones en función de las propiedades índices de los suelos de baja plasticidad. Cartagena, 2013. 109p. Trabajo de Investigación (Ingeniero Civil), Universidad de Cartagena. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
48. SANTOYO VILLA, Enrique. Historia y actualidad del hundimiento regional de la Ciudad de México. [En línea] 2010. Disponible en: <http://tgc.com.mx/tgc/wp-content/uploads/2013/11/art001.pdf>.
49. SEMANA DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS INIA. (2015, Tacuarembó) Semana de la Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria. 19 Pags.
50. STANKOVIĆ, Nadežda: *et al.* Characterization of bentonite clay from “greda” deposit. In: Processing and Application of Ceramics. Vol. 5. (Apr, 2011). 97-101 Págs.
51. VILLAMIL, Martín; *et al.* Los Suelos Expansivos, Dispersivos y Colapsables y su problemática. Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
52. YAMON Gapak; *et al.* 2016. Laboratory determination of volumetric shrinkage behavior of bentonites: A critical appraisal. En: Applied Clay Science. October 2016. 13p.
53. YANG, Chao; *et al.* Performance Evaluation and Improving Mechanisms of Diatomite- modified asphalt mixture. China. Materials, 2018.
54. ZANNI, Enrique. Patología de la construcción y restauración de obras de arquitectura. Primera edición. Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. 2008.
55. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, Trabajo de grado y otros Trabajos de investigación. NTC – 1486. Bogotá D.C. Icontec. 2008. 41 págs.

14. ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica bentonita



METAL BARCAS
PRODUCTOS PARA LA METALURGIA
Calle 9 No.32-73/75 Tels. 2018218/58 Cel. 312 537 0442 Bogotá-Col.
metalbarcas@metalbarcas.com / www.metalbarcas.com

BENTONITA ARCICOL

CERTIFICADO DE ANALISIS (Muestra Típica)

ELEMENTOS	ANALISIS	UNIDAD
Silicio (SiO_2)	50.52	%
Alúmina (Al_2O_3)	17.25	%
Hierro (Fe_2O_3)	7.27	%
Calcio (CaO)	1.21	%
Magnesio (MgO)	2.27	%
Potasio (K_2O)	0.70	%
Sodio (Na_2O)	2.48	%
Pérdidas a 100°C	7.91	%

PROPIEDADES FISICAS

- Color: Varía de café claro, amarillo verdoso a casi café oscuro.
- Humedad a 105°C (%): 12 Máx.
- Volumen de Hinchamiento: Mínimo 23.
- PH: 9.5 / 11.0
- Granulometría: 80% pasa malla 200
- Densidad aparente: 0,7-0,9 g/mL

APLICACIONES

- Moldeo en arenas de fundición que aglutinadas con Bentonita presentan excelente compresión, permeabilidad y compactibilidad.
- Aditivo para morteros
- Puesta a tierra
- Obturación de Fugas
- Impermeabilización y Sellamiento de Lagos y Reservorios
- Barreras suelo Bentonita

METAL BARCAS LTDA

Fuente: Metal barcas, 2018

Anexo 2. Profundidad efectiva para hidrometría

HIDRÓMETRO 151 H		HIDRÓMETRO 152 H			
LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm	LECTURA REAL DEL HIDRÓMETRO	PROFUNDIDAD EFECTIVA, L, cm
1	16.3	0	16.3	31	11.2
1.001	16.0	1	16.1	32	11.1
1.002	15.8	2	16.0	33	10.9
1.003	15.5	3	15.8	34	10.7
1.004	15.2	4	15.6	35	10.6
1.005	15.0	5	15.5		
1.006	14.7	6	15.3	36	10.4
1.007	14.4	7	15.2	37	10.2
1.008	14.2	8	15.0	38	10.1
1.009	13.9	9	14.8	39	9.9
1.010	13.7	10	14.7	40	9.7
1.011	13.4	11	14.5	41	9.6
1.012	13.1	12	14.3	42	9.4
1.013	12.9	13	14.2	43	9.2
1.014	12.6	14	14.0	44	9.1
1.015	12.3	15	13.8	45	8.9
1.016	12.1	16	13.7	46	8.8
1.017	11.8	17	13.5	47	8.6
1.018	11.5	18	13.3	48	8.4
1.019	11.3	19	13.2	49	8.3
1.020	11.0	20	13.0	50	8.1
1.021	10.7	21	12.9	51	7.9
1.022	10.5	22	12.7	52	7.8
1.023	10.2	23	12.5	53	7.6
1.024	10.0	24	12.4	54	7.4
1.025	9.7	25	12.2	55	7.3
1.026	9.4	26	12.0	56	7.1
1.027	9.2	27	11.9	57	7.0
1.028	8.9	28	11.7	58	6.8
1.029	8.6	29	11.5	59	6.6
1.030	8.4	30	11.4	60	6.5
1.031	8.1				
1.032	7.8				
1.033	7.6				
1.034	7.3				
1.035	7.0				
1.036	6.8				
1.037	6.5				
1.038	6.2				

Fuente: Normas y Especificaciones INVIAS 2013

Anexo 3. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Para: η en (g/cm.s); γ_w en (g/cm³); L en (cm); T en (min.)

Fuente: Normas y Especificaciones INVIAS 2013

Anexo 4. Valores del factor de corrección (a) para diferentes Gs de las partículas de suelo

GRAVEDAD ESPECÍFICA	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.95	0.94
2.90	0.95
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.03
2.45	1.05

Fuente: Normas y Especificaciones INVIAS 2013

Anexo 5. Densidad de agua y coeficiente de corrección por temperatura

Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)	Temperatura (° C)	Densidad (g/ cm ³)	Coefficiente (K)
15.0	0.99910	1.00090	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030
.6	0.99901	1.00080	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022
19.0	0.99841	1.00020	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99757	0.99936
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99790	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844
.6	0.99740	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735
.4	0.99641	0.99820	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99607	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99604	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716

Fuente: Normas y Especificaciones INVIAS 2013

Anexo 6. Bitácora hidrometría



Universidad Católica de Colombia

Laboratorio de suelos

ENSAYO DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS (INV-123)

PREPARACION DE LA MUESTRA Se deja el material 24h en metafosfato de Sodio
 CANTIDAD DE MATERIAL 50g
 TEMPERATURA DEL ENSAYO 20 °C
 TIPO DE HIDRÓMETRO 152 H
 CANTIDAD MATERIAL + AGUA 1000 ml

Muestra	Bentonita (g)		Diatomea (g)		Minutos						
					2	5	15	30	60	250	1440
1	99.5 %	49.75	0.5 %	0.25	42	41	40	40	39	36	32
2	99.2 %	49.6	0.8 %	0.4	46	45	44	43	41	40	34
3	99 %	49.5	1 %	0.5	44	43	43	42	40	38	34
4	98.5 %	49.25	1.5 %	0.75	45	44	43	42	41	38	33
5	98 %	49	2 %	1	45	45	44	43	42	39	35
6	97.5 %	48.75	2.5 %	1.25	47	46	45	43	42	40	35
7	97 %	48.5	3 %	1.5	45	44	42	42	40	38	34
8	96.5 %	48.25	3.5 %	1.75	45	45	43	42	41	39	34
9	96 %	48	4 %	2	45	43	42	42	41	37	33
10	95.5 %	47.75	4.5 %	2.25	47	46	45	44	42	40	35
11	95 %	47.5	5 %	2.5	47	47	45	43	43	40	35
12	90 %	45	10 %	5	47	46	44	44	41	40	34
13	85 %	42.5	15 %	7.5	46	44	42	41	40	36	31
14	100 %	50	0 %	0	45	43	42	42	40	37	33

Cesar Prada
LABORATORISTA

Angie Mosquera - Leidy León
ESTUDIANTE RESPONSABLE

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 7. Dosificaciones con 50 g de material

Muestras	Bentonita (g)		Diatomea (g)	
1	99,50%	49,75	0,50%	0,25
2	99,20%	49,60	0,80%	0,40
3	99,00%	49,50	1%	0,50
4	98,50%	49,25	1,50%	0,75
5	98,00%	49,00	2%	1,00
6	97,50%	48,75	2,50%	1,25
7	97,00%	48,50	3%	1,50
8	96,50%	48,25	3,50%	1,75
9	96,00%	48,00	4%	2,00
10	95,50%	47,75	4,50%	2,25
11	95,00%	47,50	5%	2,50
12	90,00%	45,00	10%	5,00
13	85,00%	42,50	15%	7,50
14	100,00%	50,00	0%	0,00

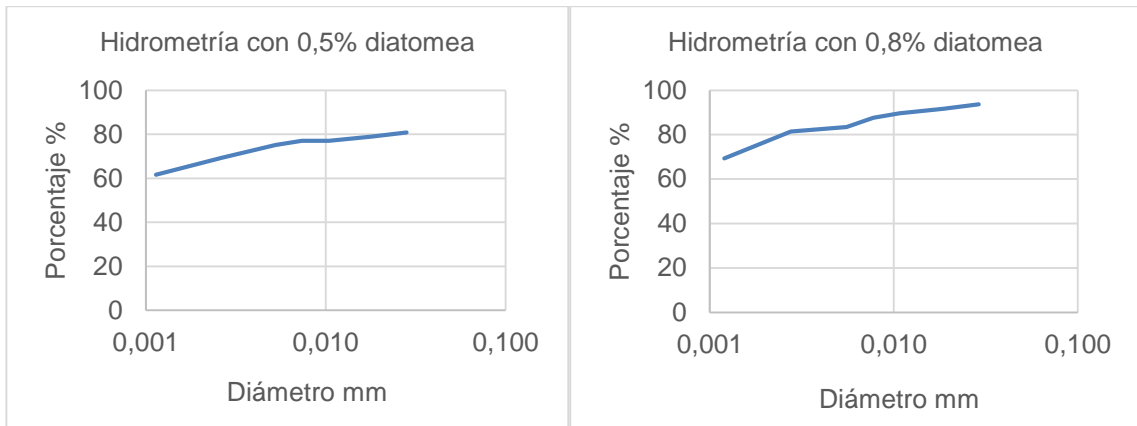
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 8. Factor de correccion a y constante K

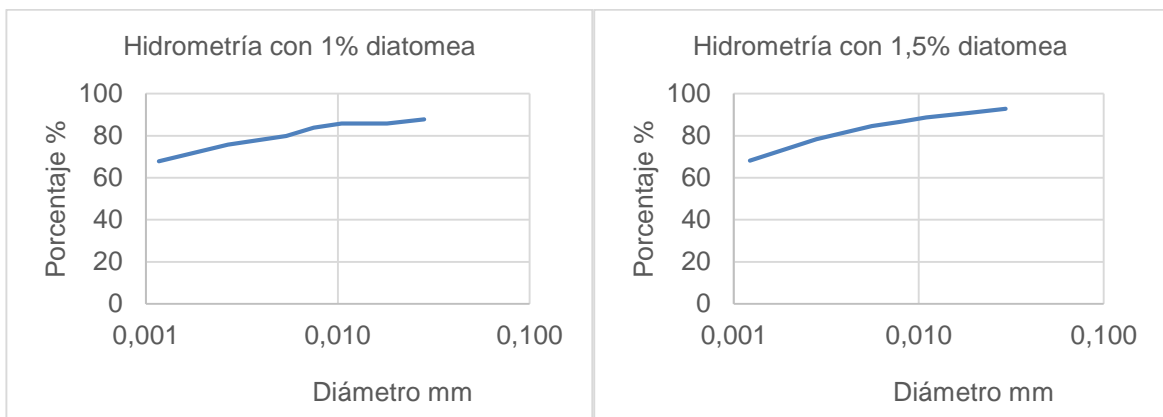
Muestras	a	k
1	0,96	0,01296
2	1,02	0,01399
3	1,00	0,01361
4	1,03	0,01422
5	0,97	0,01303
6	0,71	0,01336
7	1,00	0,01369
8	1,05	0,01451
9	1,00	0,01369
10	0,99	0,01348
11	1,03	0,01408
12	1,04	0,01436
13	1,00	0,01361
14	0,98	0,01329

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

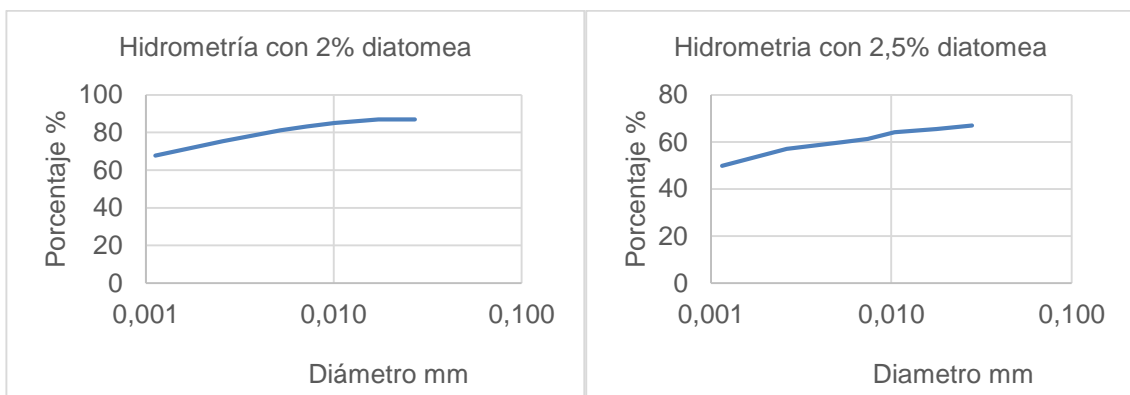
Anexo 9. Gráficas de hidrometría de bentonita con adiciones de diatomea



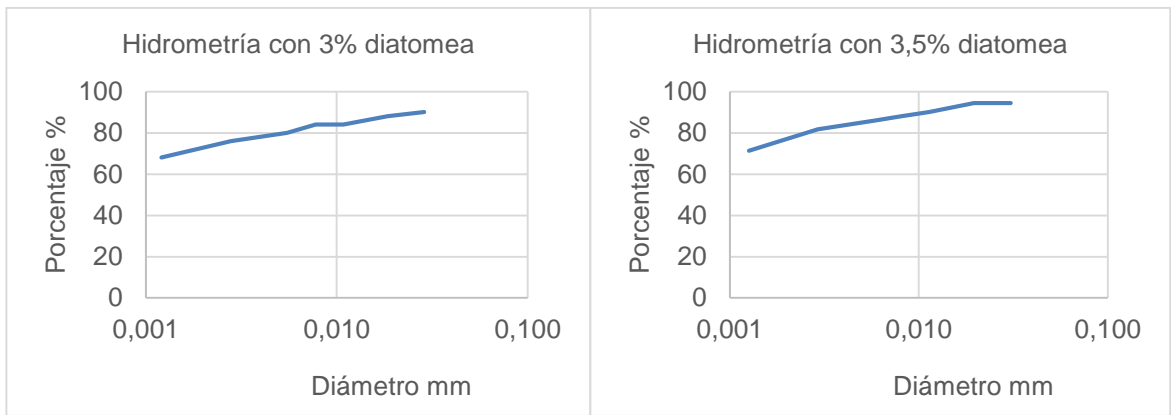
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



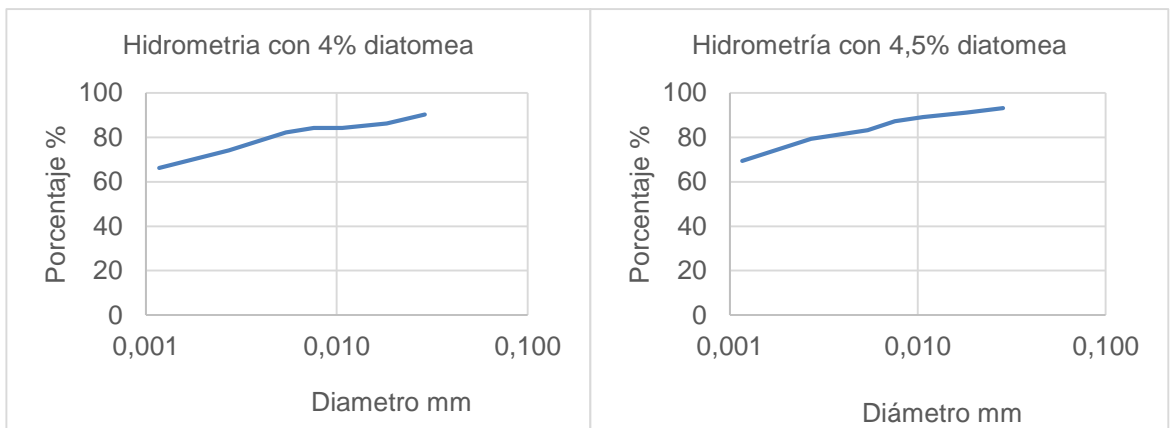
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



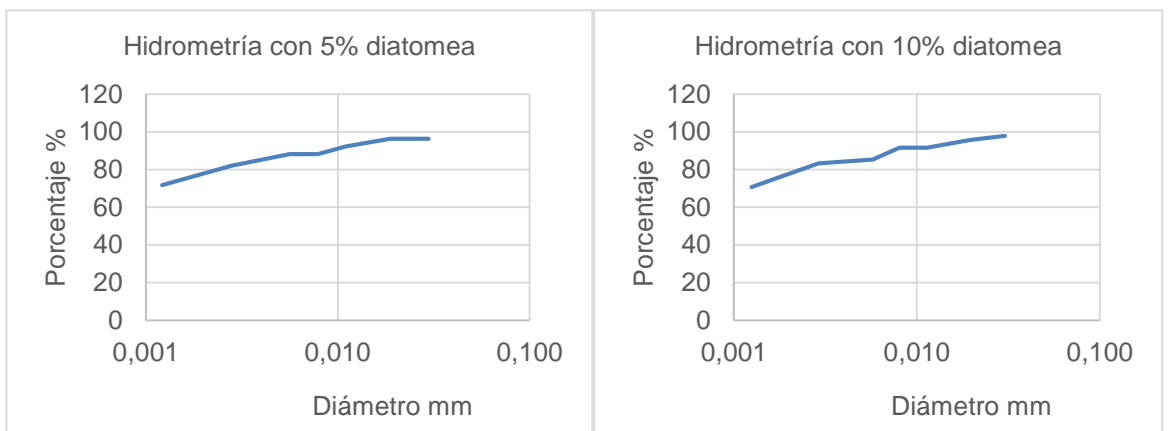
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 10. Bitácora ensayo gravedad específica



Universidad Católica de Colombia

Laboratorio de suelos

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA (INV-128)

PREPARACION DE LA MUESTRA se seca la muestra por 24h en el horno a 110°C
 CANTIDAD DE MATERIAL 50 g
 TEMPERATURA DEL ENSAYO 19.8 °C

Calibración picnómetro 1					
Peso picnómetro	150.4 g				
Temperatura °C	19.8	22.4	24.5	26.3	28
Peso picnómetro + agua	650.77 g	650.58 g	649.68 g	649.15 g	648.94 g
Calibración picnómetro 2					
Peso picnómetro	247.04 g				
Temperatura °C	22.4	25.4	27.5	29.5	
Peso picnómetro + agua	1245.34 g	1244.16 g	1243.82 g	1242.75 g	

Datos del laboratorio							
muestra	1	2	3	4	5	6	7
picnómetro	P ₂	P ₂	P ₁	P ₁	P ₁	P ₁	P ₂
peso picnómetro(g)	1276.62	1275.23	681.35	680.45	682.66	693.98	1277.2
muestra seca (g)	49.09	49.55	49	49.17	49.52	49.44	49.93
muestra	8	9	10	11	12	13	14
picnómetro	P ₂	P ₂	P ₂	P ₂	P ₂	P ₂	P ₁
peso picnómetro(g)	1275.8	1276.62	1277.16	1276.02	1275.2	1276.51	681.99
muestra seca (g)	49.96	49.07	49.35	49.16	48.52	48.61	49.2

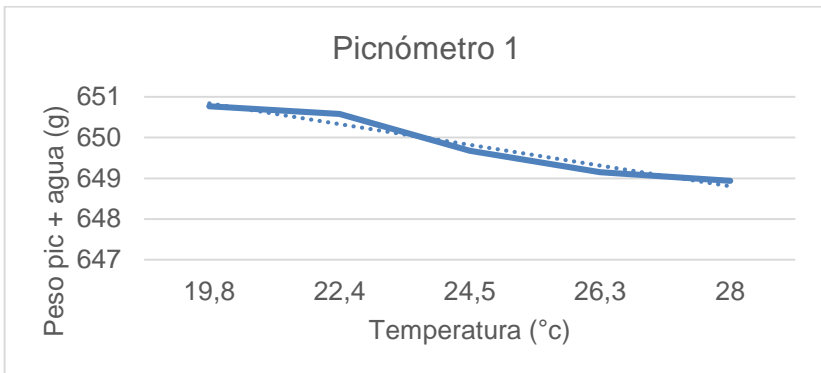
Cesar Pineda
 LABORATORISTA

Angie Mosquera - Leidy León
 ESTUDIANTE RESPONSABLE

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

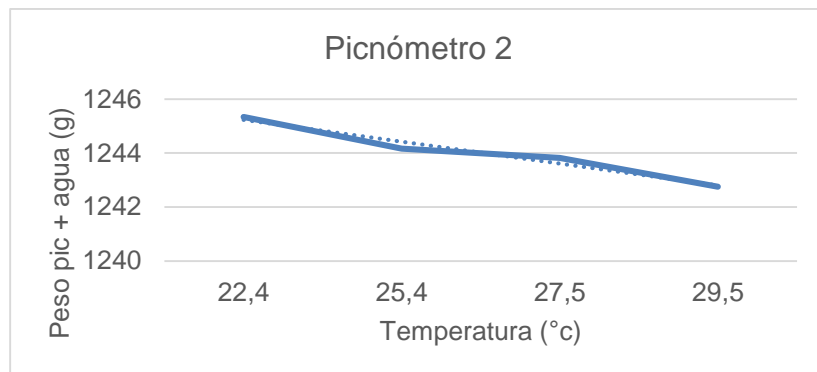
Anexo 11. Calibración de los picnómetros

Picnómetro 1	
T (°c)	Peso pic + agua (g)
19,8	650,77
22,4	650,58
24,5	649,68
26,3	649,15
28	648,94



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Picnómetro 2	
Temperatura (°c)	Peso pic + agua (g)
22,4	1245,34
25,4	1244,16
27,5	1243,82
29,5	1242,75



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 12. Bitácora límite líquido



Universidad Católica de Colombia

Laboratorio de suelos

Determinación del límite líquido de los suelos (INV-125)

muestra	Nº golpes	Nº Recip	Peso de Recip + SH.	peso de Recip + SS	peso de Recip
1	17	39	26,51	16,93	14,14
	26	16	25,38	16,21	13,49
	32	8	22,67	15,93	13,91
2	16	30	22,45	14,33	12,23
	23	18	22,33	15,4	13,57
	31	9	22,22	15,53	13,81
3	19	298	18,8	13,53	12,33
	24	25	21,99	15,96	14,52
	33	378	21,99	14,78	12,96
4	18	338	26,65	13,22	10,57
	26	388	20,52	12,64	10,59
	34	358	24,99	13,56	10,48
5	15	15	23	15,69	13,7
	26	27	24,2	16,63	14,5
	35	30	22,2	14,46	12,2
6	15	17	23,15	16,56	13,61
	25	21	28,96	16,48	12,9
	34	24	28,97	18,21	15,02
7	15	25	29,38	16,4	13,41
	25	27	25,67	16,62	14,5
	35	3	24,43	15,91	13,86
muestra	Nº golpes	Nº Recip	Peso de Recip + SH.	peso de Recip + SS	peso de Recip
8	15	33	26,45	16,26	13,61
	27	398	23,68	13,26	10,42
	35	12	26,45	16,49	13,6
9	15	328	23,63	13,62	10,43
	26	298	27,3	16,17	13,22
	36	368	24,62	13,6	10,62
10	16	318	19,32	12,36	10,7
	25	338	24,5	13,36	10,55
	35	348	23,57	13	10,27
11	15	268	23,73	13,35	10,67
	25	308	20,16	12,64	10,67
	34	298	23,77	13,58	10,98
12	15	34	20,7	15,46	11
	26	14	20,28	15,26	13,84
	35	7	20,01	15,2	13,8
13	15	22	20,56	14,52	13
	25	13	21,04	15,2	15,58
	35	30	22,88	14,64	12,23
14	17	15	25	15,89	13,75
	26	30	23,88	14,63	12,22
	35	6	24,51	16,24	14

Cesar Prada

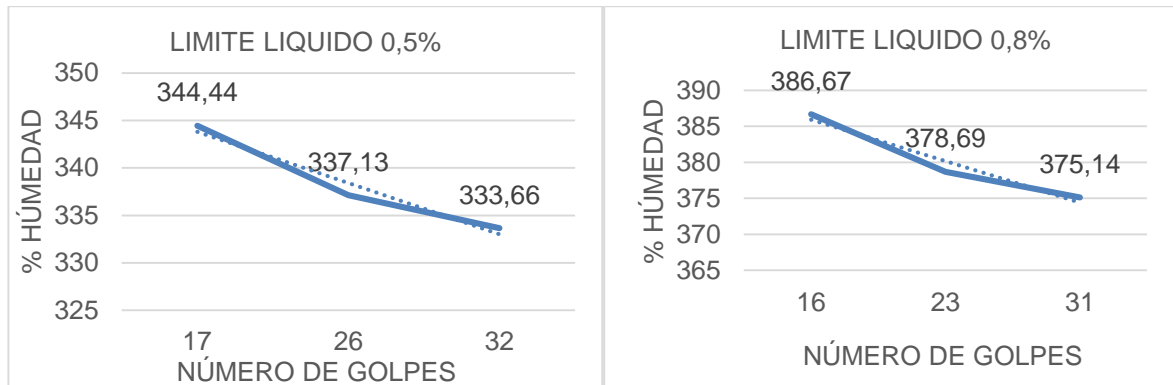
LABORATORISTA

Angie Mosquera - Leidy León

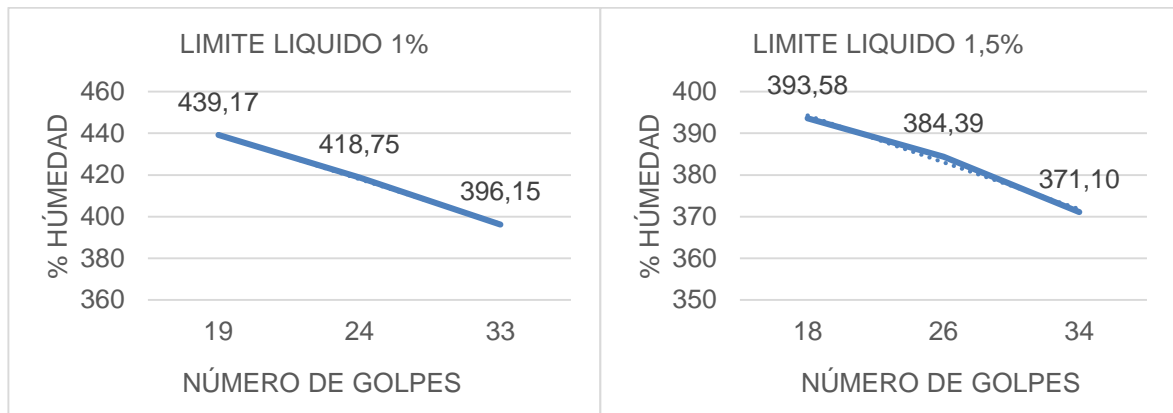
ESTUDIANTE RESPONSABLE

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

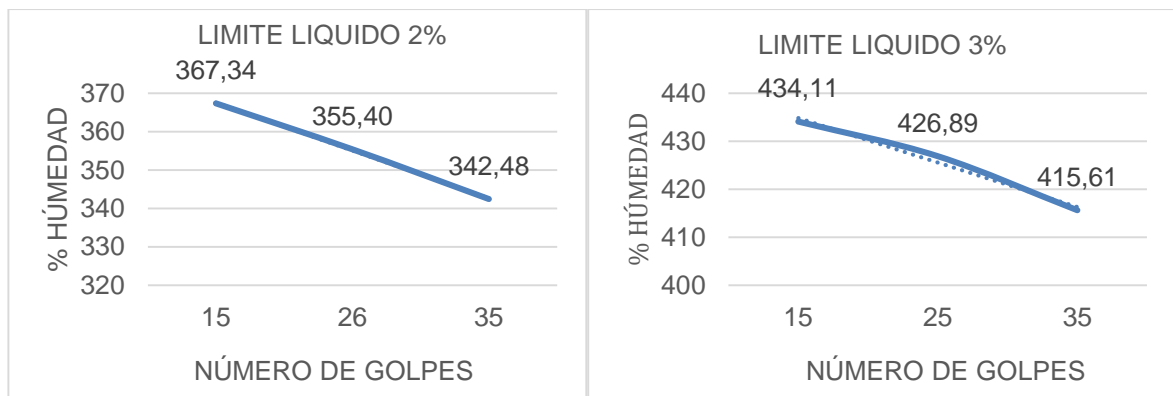
Anexo 13. Gráficas del límite líquido de bentonita con adiciones de diatomea



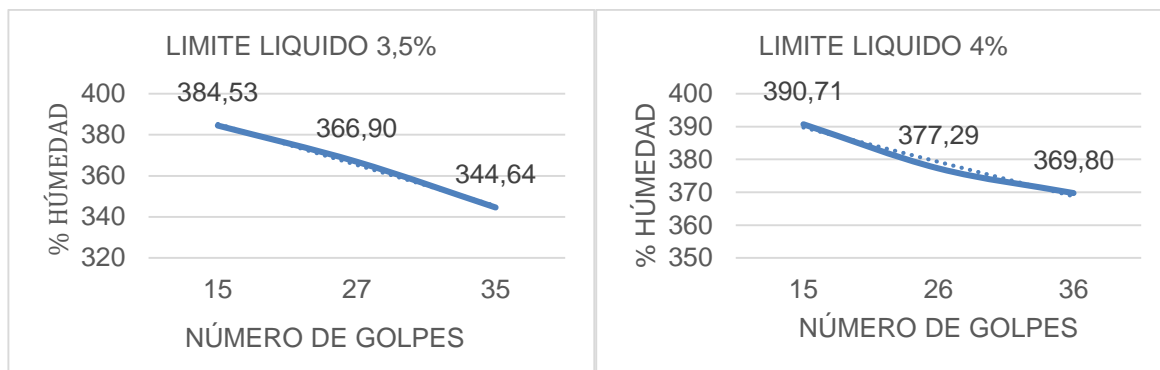
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



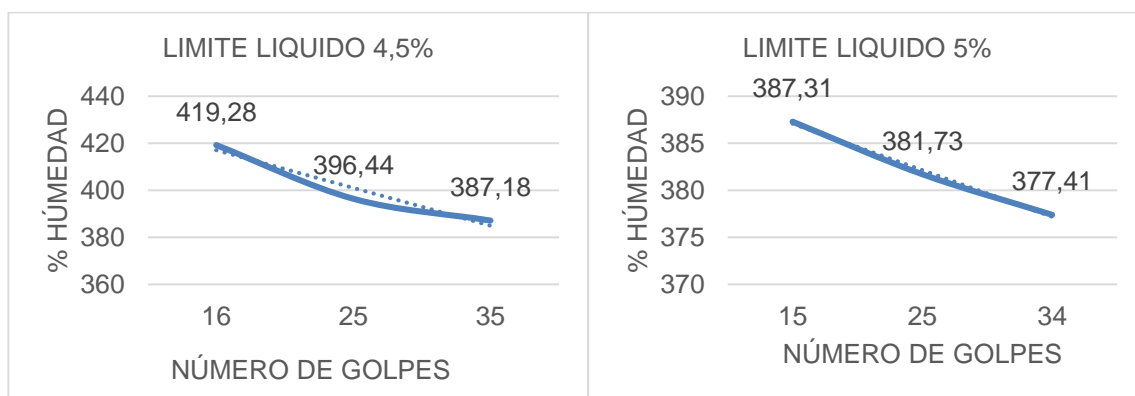
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



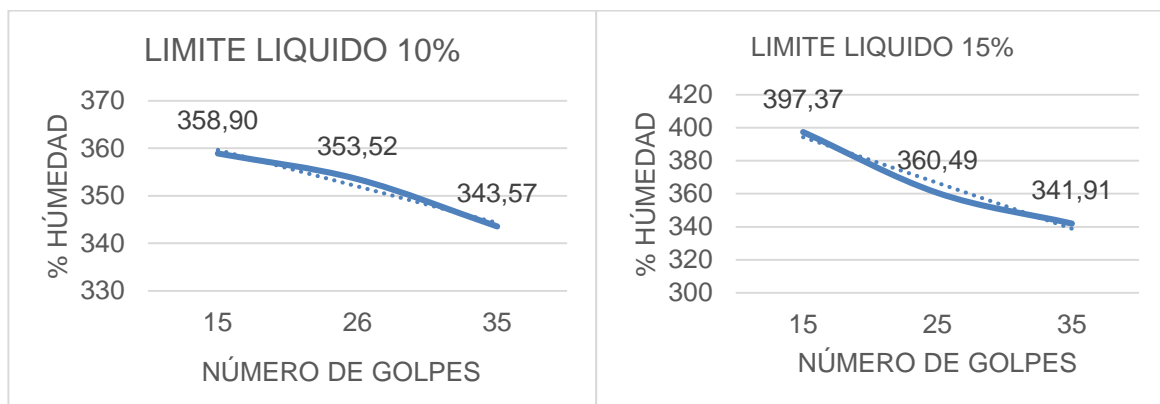
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 14. Bitácora límite plástico de bentonita con adición de diatomeas



Universidad Católica de Colombia

Laboratorio de suelos

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (INV-126)

muestra	N° Recip	Peso de Recip + SH.	peso de Recip + SS	peso de Recip
1	38	18,53	17,04	13,41
	23	18,85	17,39	13,8
2	27	18,71	17,04	13,68
	30	18,8	17,07	13,5
3	15	18,62	17,08	13,61
	25	18,01	16,49	12,85
4	4	19,66	17,85	13,9
	19	19,01	16,92	12,15
5	398	18,83	17,5	13,72
	328	18,76	17,61	13,68
6	7	18,93	17,51	13,94
	318	18,72	17,48	13,91
7	4	19,7	18,21	14,52
	18	17,64	16,06	12,32
8	25	15,61	13,86	10,48
	9	15,66	13,87	10,44
9	4	18,74	17,25	13,65
	15	18,93	17,45	13,71
10	27	19,07	17,43	13,69
	30	19,66	17,93	13,82
11	16	18,7	17,49	13,7
	32	18,7	17,49	13,6
12	14	15,66	14,21	10,65
	9	17,03	15,23	10,71
13	13	18,61	16,98	13,61
	10	18,82	17,17	13,66
14	4	19,6	18,28	14,5
	9	17,28	15,95	12,24

Cesar Prada

LABORATORISTA

Angie Mosquera-Leidy León

ESTUDIANTE RESPONSABLE

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 15. Dimensiones del anillo

Dimensiones del anillo	
Altura del anillo (mm)	21,01
Altura del anillo inicial (cm)	2,101
Altura del anillo final (cm)	1,895
Diámetro del anillo (mm)	63,67
Diámetro del anillo (cm)	6,367
Área del anillo (cm ²)	31,84
Volumen del anillo (cm ³)	66,89

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 16 Datos de consolidación de bentonita con adición de diatomea

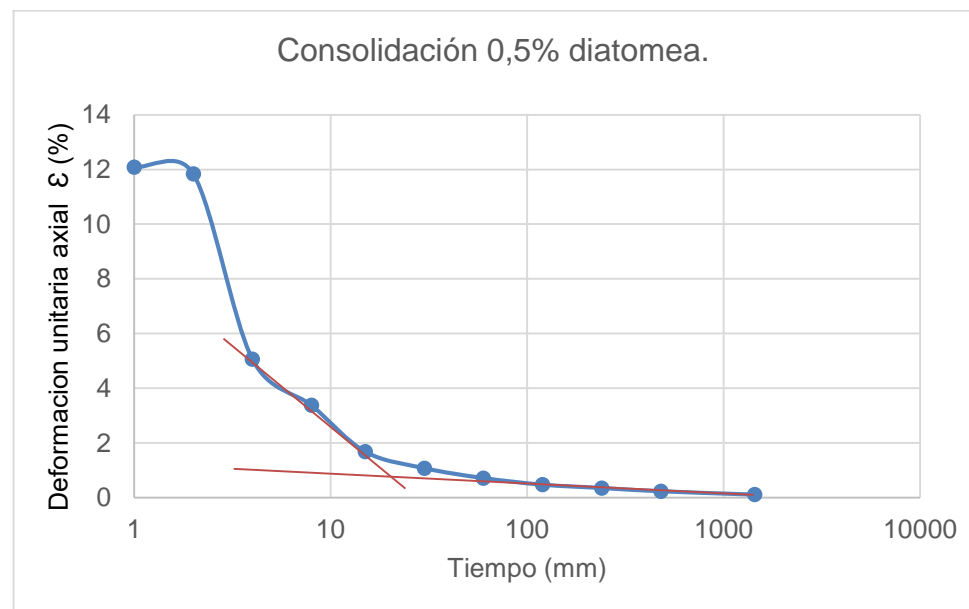
Tiempo	Carga	Deformación (pul *10 ⁻³)						
		1	2	3	4	5	6	7
0.1		0	0	0	0	0	0	0
0.25		0	0	0	0	0	0	0
0.5		0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	1	1	1	1	1
2	10	2	2	2	2	2	2	1,9
4	10	3	3	3	3	3	3	3
8	25	4	4	4,5	4,5	4	4	3,8
15	50	6	6	6	5	5	5	5
30	100	9	9	9	9	8,5	8	8
60	200	14	14	14	13	13	13	13
120	400	28	26	27	23	22	22	22
240	800	42	42	42	42	42	42	42
480	1600	98	96	97	95	95	95	90
1440	3200	100		100	97	96	96	92

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

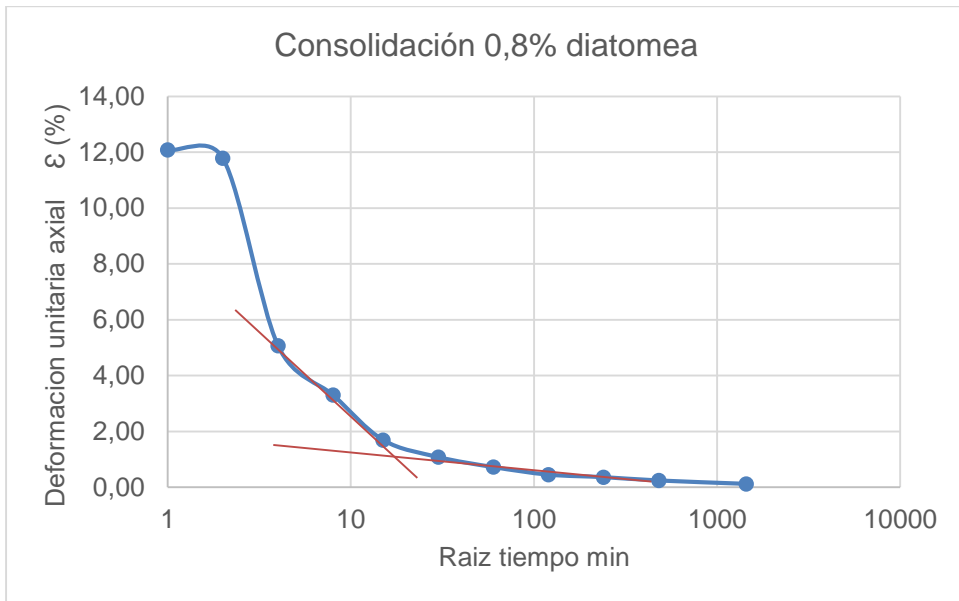
Tiempo	Carga	Deformación (pul *10 ⁻³)						
		8	9	10	11	12	13	14
0.1		0	0	0	0	0	0	0
0.25		0	0	0	0	0	0	0
0.5		0	0	0	0	0	0	0
1		1	1	1	1	0,8	0,7	1
2	10	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	2
4	10	2,9	2,9	2,7	2,7	2,5	2,3	3
8	25	3,8	3,8	3,8	3,6	3,7	3,5	4
15	50	5	5	5	5	5	5	7
30	100	7	6,9	6,9	6,8	6,5	6,4	9
60	200	13	13	13	13	12	12	15
120	400	22	21	20	19	19,5	19,5	30
240	800	42	39	39	39	37	37	42
480	1600	90	90	89,5	85	81	80	100
1440	3200	91	91	90	87	85	84	101

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

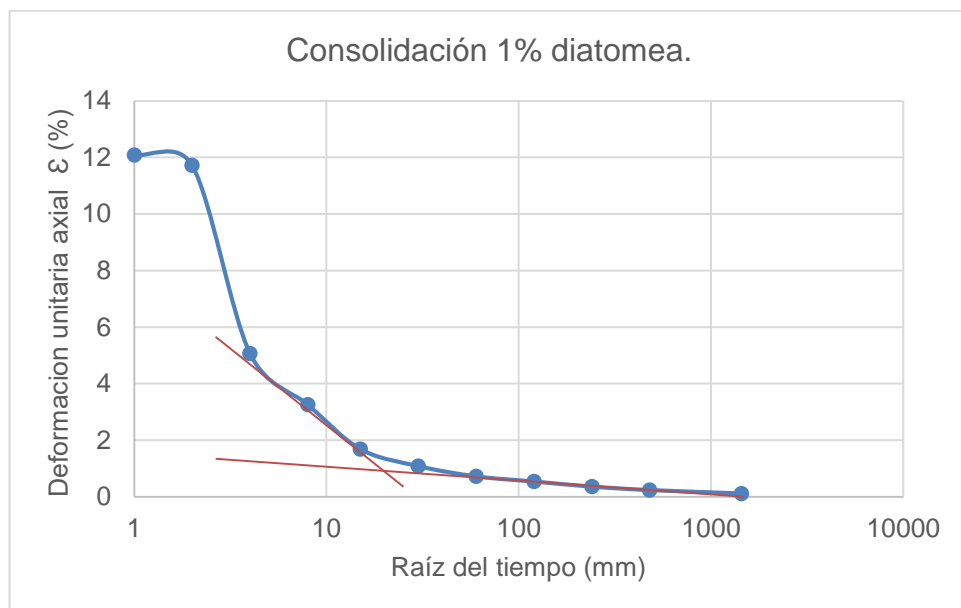
Anexo 17. Gráficas de consolidación de bentonita con adición de diatomea



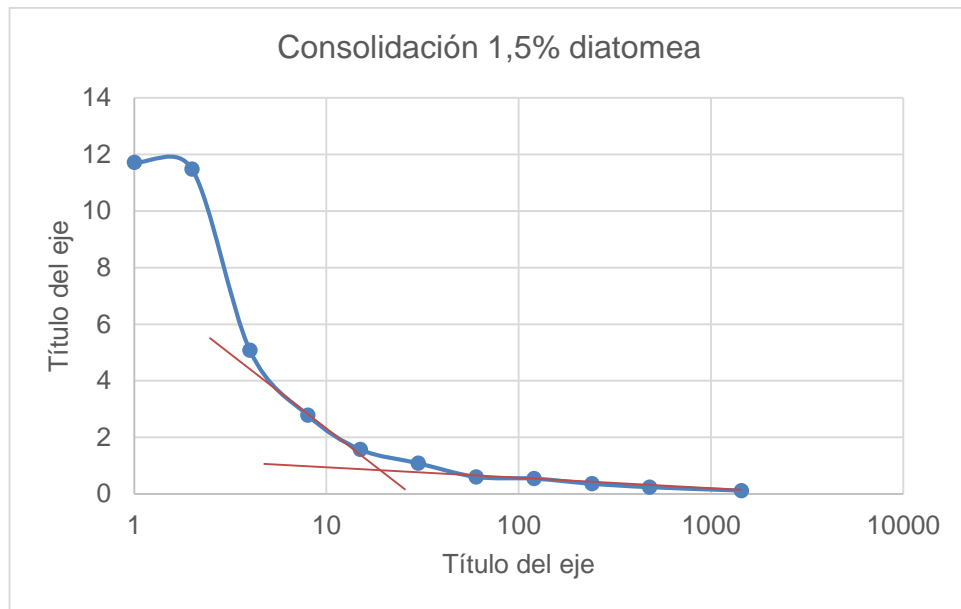
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



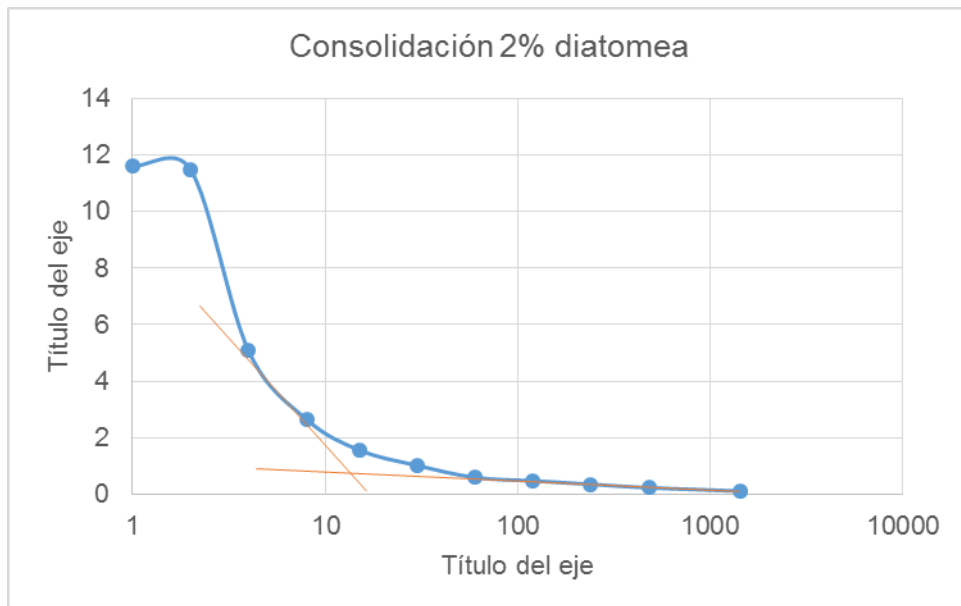
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



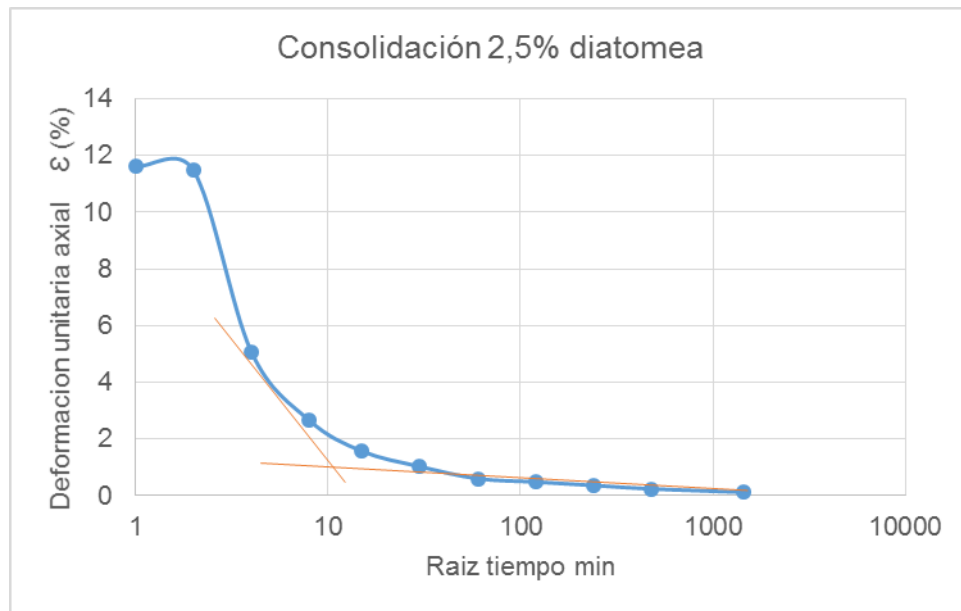
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



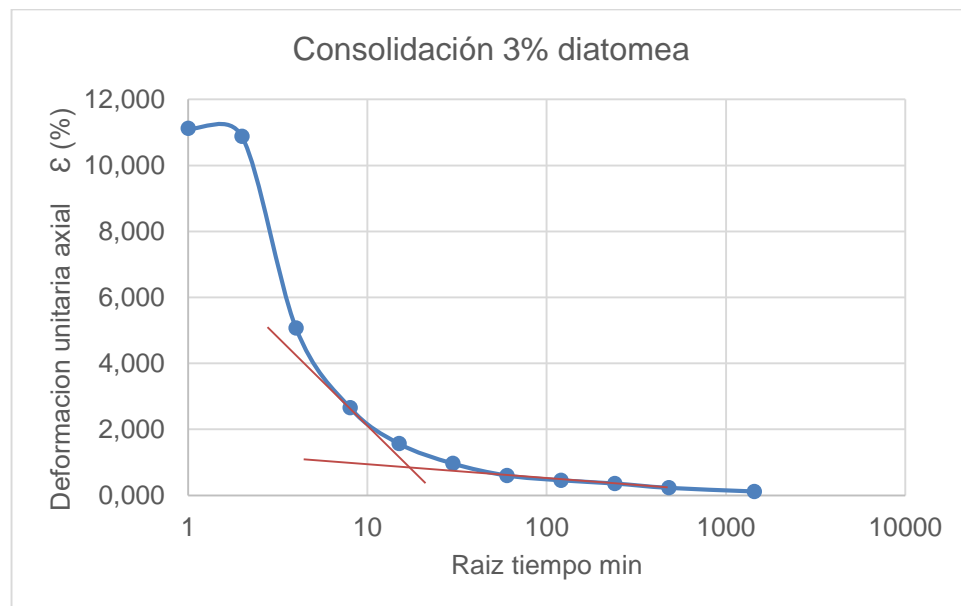
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



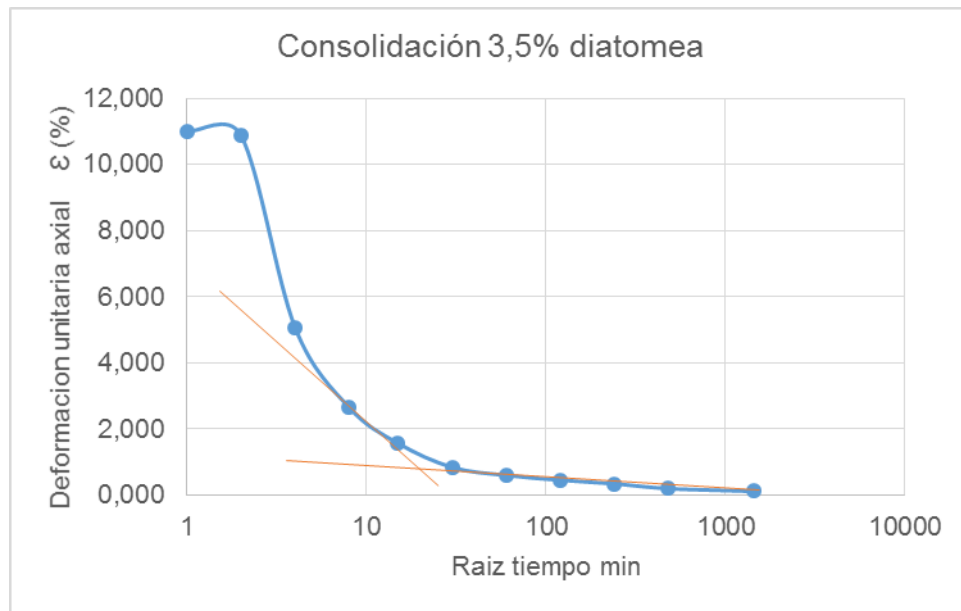
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



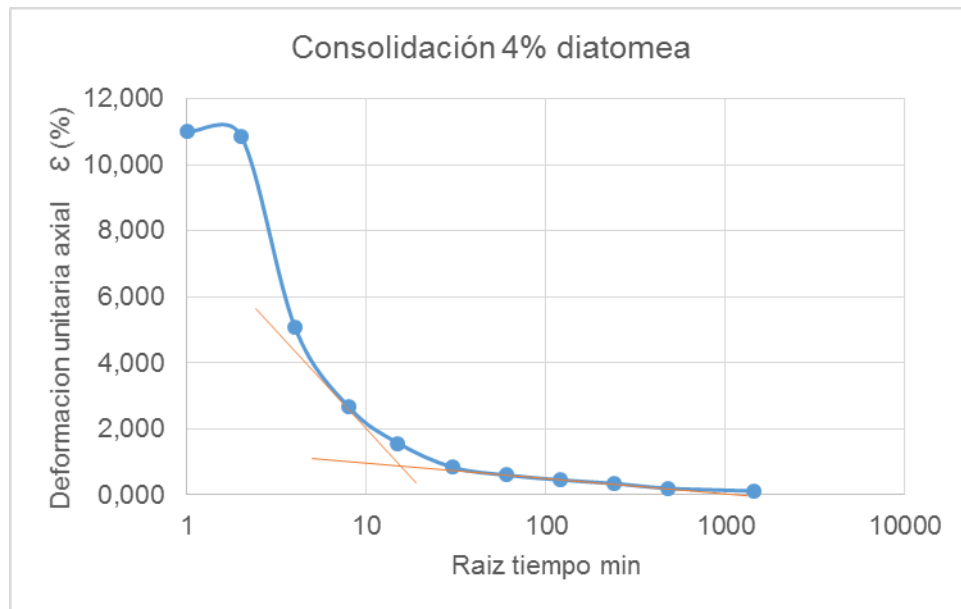
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



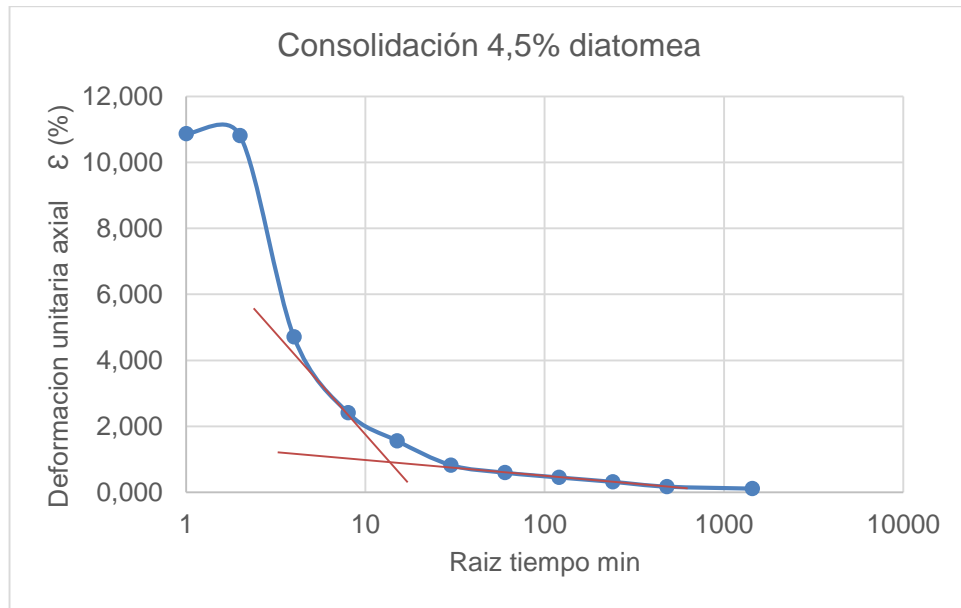
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



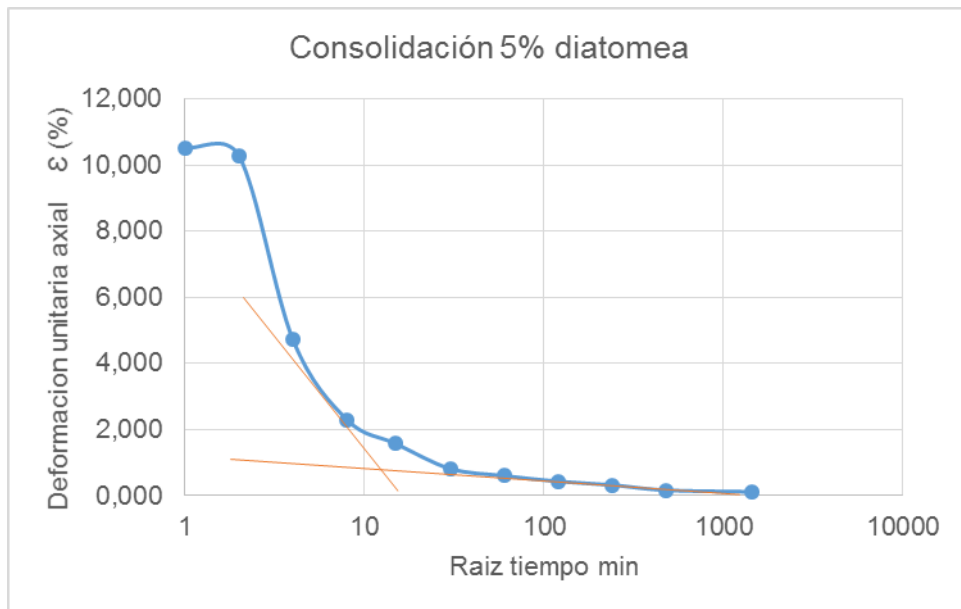
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



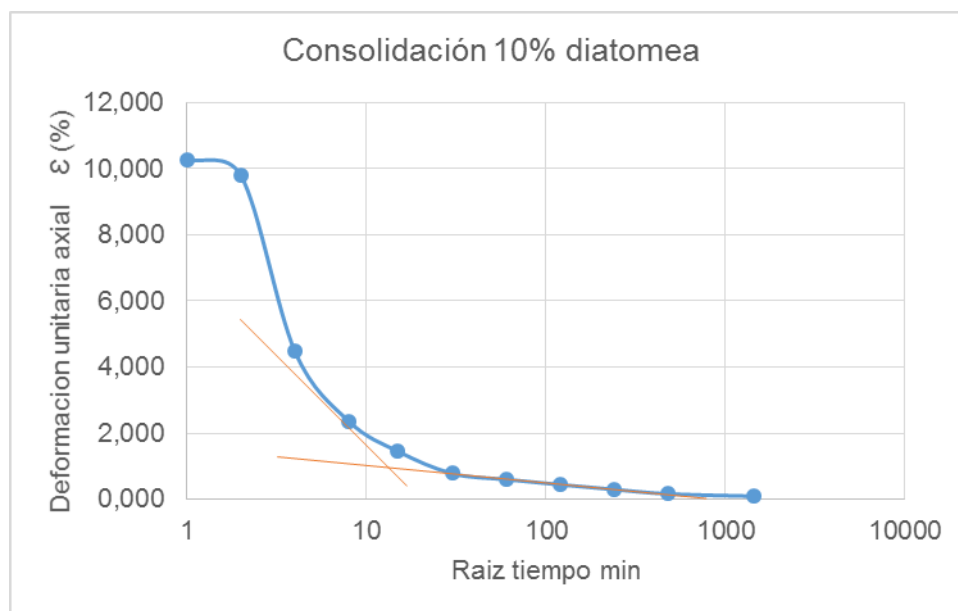
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

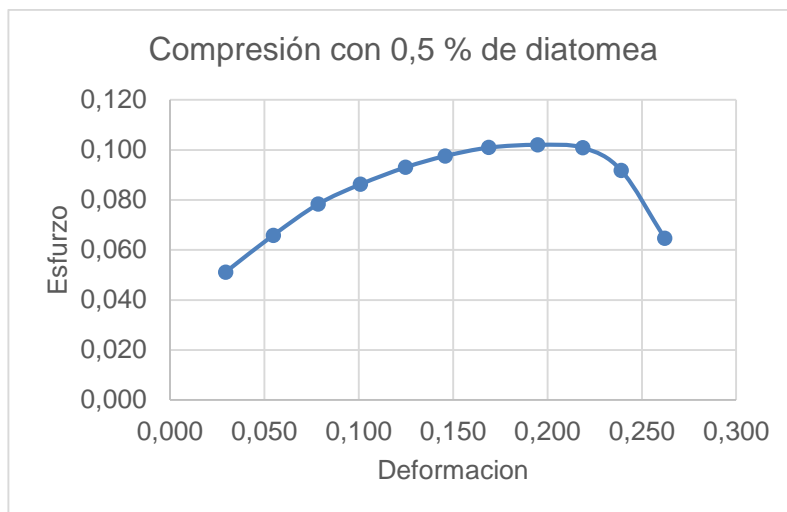


Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 18. Datos graficas e ilustraciones de compresión de bentonita con diatomea

1. Bentonita con diatomea 0,5%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		879,661
Altura (mm)	71,34				
Diámetro (mm)	33,44		Área transversal (m2)		0,8796
Peso (g)	101,44				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,045	0,021	0,029	0,8804	0,051
1	0,058	0,039	0,055	0,8807	0,066
1,5	0,069	0,056	0,078	0,8809	0,078
2	0,076	0,072	0,101	0,8811	0,086
2,5	0,082	0,089	0,125	0,8813	0,093
3	0,086	0,104	0,146	0,8815	0,098
3,5	0,089	0,1205	0,169	0,8817	0,101
4	0,09	0,139	0,195	0,8819	0,102
4,5	0,089	0,156	0,219	0,8821	0,101
5	0,081	0,1705	0,239	0,8823	0,092
5,5	0,057	0,187	0,262	0,8825	0,065

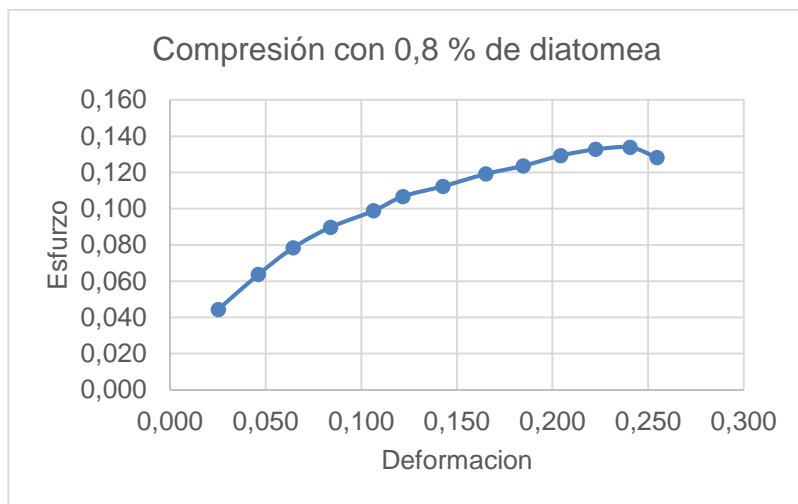
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

2. Bentonita con diatomea 0,8%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		
Altura (mm)	71,46				877,735
Diámetro (mm)	33,5		Área transversal (m2)		
Peso (g)	97,82				0,8777
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,039	0,018	0,025	0,8804	0,044
1	0,056	0,033	0,046	0,8806	0,064
1,5	0,069	0,046	0,064	0,8808	0,078
2	0,079	0,06	0,084	0,8809	0,090
2,5	0,087	0,076	0,106	0,8811	0,099
3	0,094	0,087	0,122	0,8813	0,107
3,5	0,099	0,102	0,143	0,8814	0,112
4	0,105	0,118	0,165	0,8816	0,119
4,5	0,109	0,132	0,185	0,8818	0,124
5	0,114	0,146	0,204	0,8820	0,129
5,5	0,117	0,159	0,223	0,8822	0,133
6	0,118	0,172	0,241	0,8823	0,134
6,5	0,113	0,182	0,255	0,8824	0,128

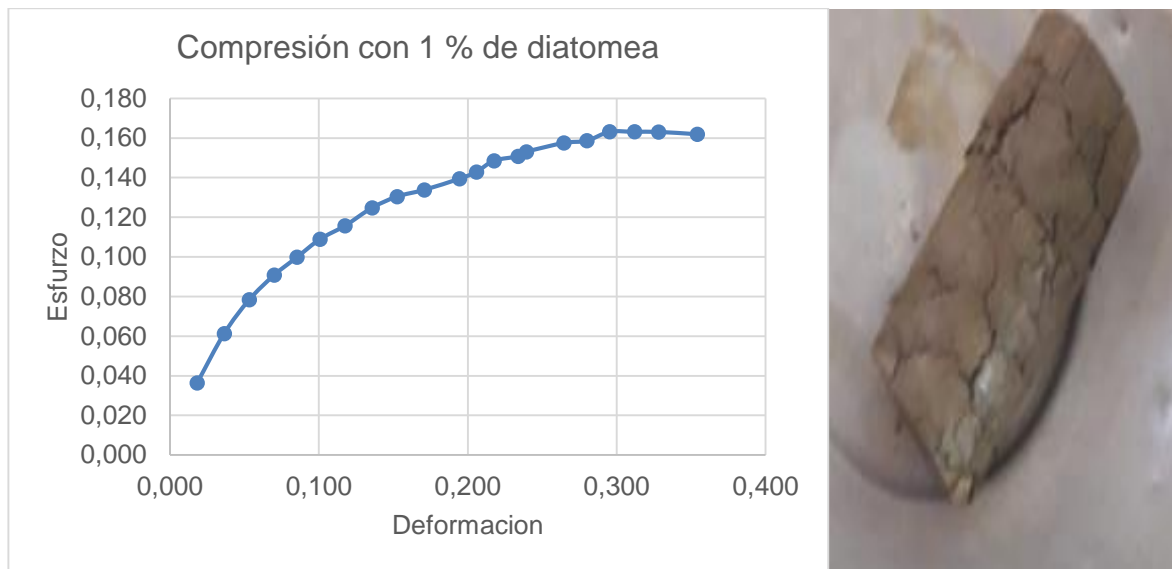
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

3. Bentonita con diatomea 1%					
Cilindro			Área transversal (mm ²)		872,317
Altura (mm)	71,44		Área transversal (m ²)		0,8723
Diámetro (mm)	33,37				
Peso (g)	100,42				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m ²)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,032	0,013	0,018	0,8803	0,036
1	0,054	0,026	0,036	0,8805	0,061
1,5	0,069	0,038	0,053	0,8807	0,078
2	0,08	0,05	0,070	0,8808	0,091
2,5	0,088	0,061	0,085	0,8809	0,100
3	0,096	0,072	0,101	0,8811	0,109
3,5	0,102	0,084	0,118	0,8812	0,116
4	0,11	0,097	0,136	0,8814	0,125
4,5	0,115	0,109	0,153	0,8815	0,130
5	0,118	0,122	0,171	0,8817	0,134
5,5	0,123	0,139	0,195	0,8819	0,139
6	0,126	0,147	0,206	0,8820	0,143
6,5	0,131	0,1555	0,218	0,8821	0,149
7	0,133	0,167	0,234	0,8823	0,151
7,5	0,135	0,171	0,239	0,8823	0,153
8	0,139	0,189	0,265	0,8825	0,158
8,5	0,14	0,2	0,280	0,8827	0,159
9	0,144	0,211	0,295	0,8828	0,163
9,5	0,144	0,223	0,312	0,8829	0,163
10	0,144	0,2345	0,328	0,8831	0,163
10,5	0,143	0,253	0,354	0,8833	0,162

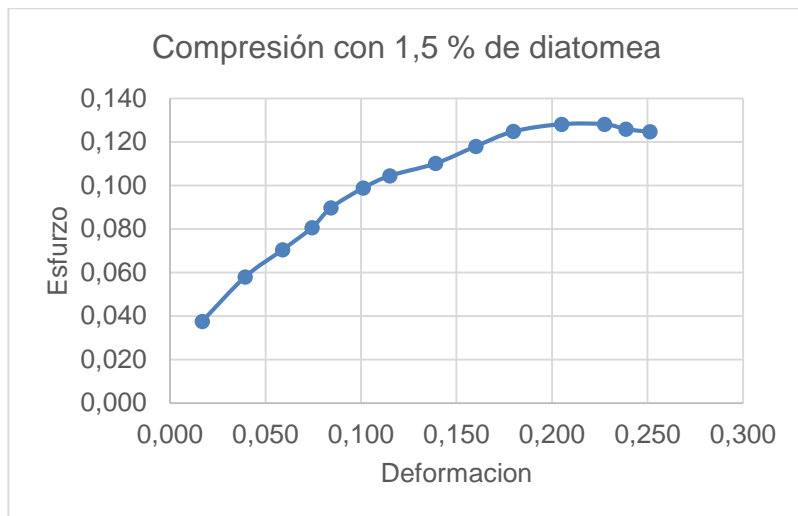
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

4. Bentonita con diatomea 1,5%					
Cilindro			Área transversal (mm ²)		871,794
Altura (mm)	71,22		Área transversal (m ²)		0,8717
Diámetro (mm)	33,31				
Peso (g)	97,4				
Tiempo (min)	Carga axial (kn)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e ₁ (%)	Área corregida (m ²)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,033	0,012	0,017	0,8803	0,037
1	0,051	0,028	0,039	0,8805	0,058
1,5	0,062	0,042	0,059	0,8807	0,070
2	0,071	0,053	0,074	0,8808	0,081
2,5	0,079	0,06	0,084	0,8809	0,090
3	0,087	0,072	0,101	0,8811	0,099
3,5	0,092	0,082	0,115	0,8812	0,104
4	0,097	0,099	0,139	0,8814	0,110
4,5	0,104	0,114	0,160	0,8816	0,118
5	0,11	0,128	0,180	0,8818	0,125
5,5	0,113	0,146	0,205	0,8820	0,128
6	0,113	0,162	0,227	0,8822	0,128
6,5	0,111	0,17	0,239	0,8823	0,126
7	0,11	0,179	0,251	0,8824	0,125

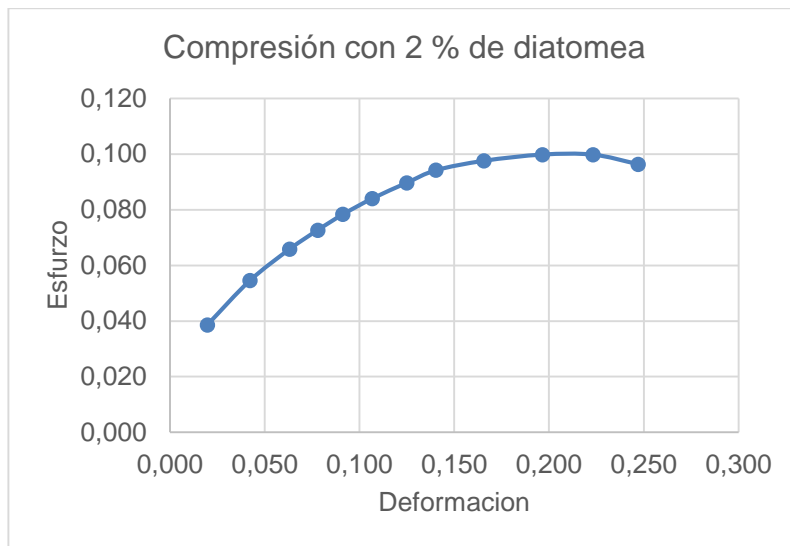
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

5. Bentonita con diatomea 2%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		865,004
Altura (mm)	71,24				
Diámetro (mm)	33,15		Área transversal (m2)		0,8650
Peso (g)	99,78				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,034	0,014	0,020	0,8804	0,039
1	0,048	0,03	0,042	0,8806	0,055
1,5	0,058	0,045	0,063	0,8807	0,066
2	0,064	0,0555	0,078	0,8809	0,073
2,5	0,069	0,065	0,091	0,8810	0,078
3	0,074	0,076	0,107	0,8811	0,084
3,5	0,079	0,089	0,125	0,8813	0,090
4	0,083	0,1	0,140	0,8814	0,094
4,5	0,086	0,118	0,166	0,8816	0,098
5	0,088	0,14	0,197	0,8819	0,100
5,5	0,088	0,159	0,223	0,8822	0,100
6	0,085	0,176	0,247	0,8824	0,096

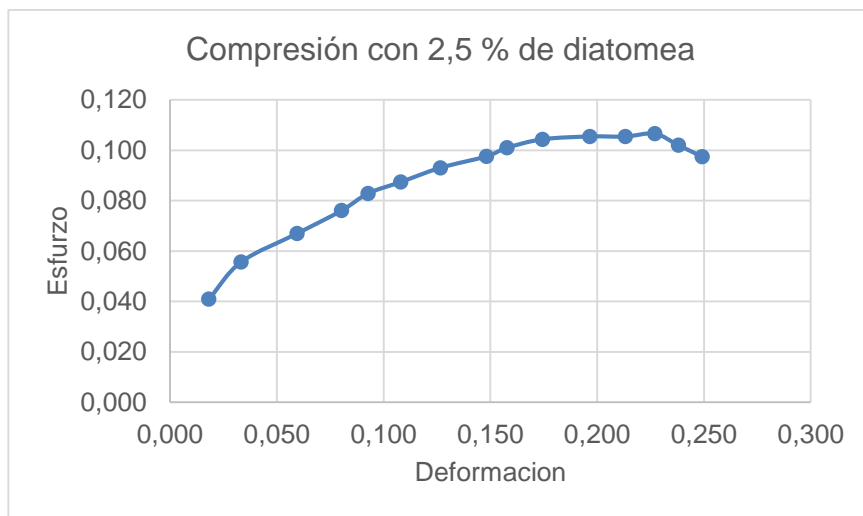
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

6. Bentonita con diatomea 2,5%					
Cilindro			Área transversal (mm ²)		
Altura (mm)	71,59				875,461
Diámetro (mm)	33,37		Área transversal (m ²)		
Peso (g)	97,98				0,8754
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e ₁ (%)	Área corregida (m ²)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,036	0,013	0,018	0,8803	0,041
1	0,049	0,024	0,033	0,8805	0,056
1,5	0,059	0,043	0,060	0,8807	0,067
2	0,067	0,058	0,080	0,8809	0,076
2,5	0,073	0,067	0,093	0,8810	0,083
3	0,077	0,078	0,108	0,8811	0,087
3,5	0,082	0,0915	0,127	0,8813	0,093
4	0,086	0,107	0,148	0,8815	0,098
4,5	0,089	0,114	0,158	0,8816	0,101
5	0,092	0,126	0,174	0,8817	0,104
5,5	0,093	0,142	0,197	0,8819	0,105
6	0,093	0,154	0,213	0,8821	0,105
6,5	0,094	0,164	0,227	0,8822	0,107
7	0,09	0,172	0,2381	0,8823	0,102
7,5	0,086	0,18	0,2491	0,8824	0,097

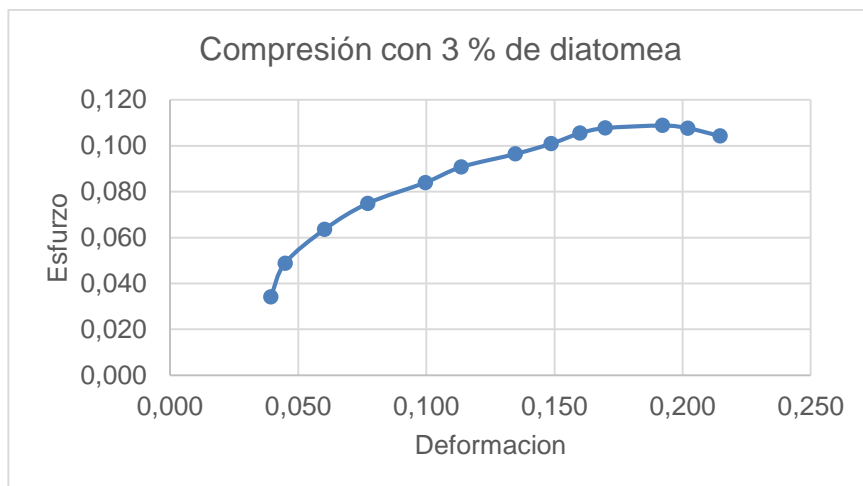
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

7. Bentonita con diatomea 3%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		
Altura (mm)	71,29				874,063
Diámetro (mm)	33,39		Área transversal (m2)		
Peso (g)	97,23				0,8740
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria ϵ_1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,03	0,028	0,039	0,8805	0,034
1	0,043	0,032	0,045	0,8806	0,049
1,5	0,056	0,043	0,060	0,8807	0,064
2	0,066	0,055	0,077	0,8809	0,075
2,5	0,074	0,071	0,100	0,8811	0,084
3	0,08	0,081	0,114	0,8812	0,091
3,5	0,085	0,096	0,135	0,8814	0,096
4	0,089	0,106	0,149	0,8815	0,101
4,5	0,093	0,114	0,160	0,8816	0,105
5	0,095	0,121	0,170	0,8817	0,108
5,5	0,096	0,137	0,192	0,8819	0,109
6	0,095	0,144	0,202	0,8820	0,108
6,5	0,092	0,153	0,215	0,8821	0,104

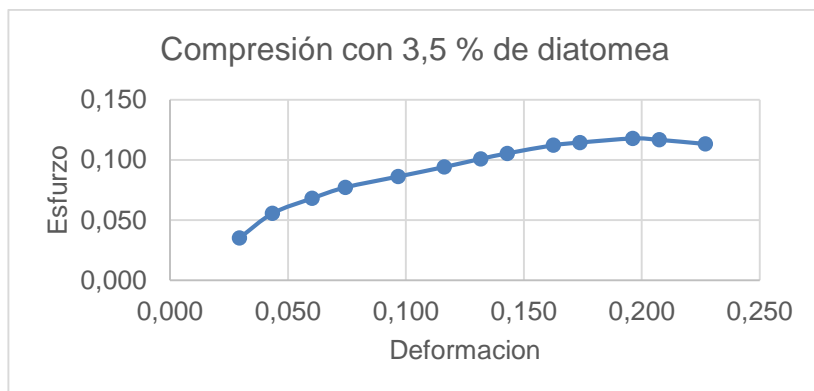
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

8. Bentonita con diatomea 3,5%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		875,985
Altura (mm)	71,36				
Diámetro (mm)	33,38		Área transversal (m2)		
Peso (g)	98,9				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,031	0,021	0,029	0,8804	0,035
1	0,049	0,031	0,043	0,8806	0,056
1,5	0,06	0,043	0,060	0,8807	0,068
2	0,068	0,053	0,074	0,8808	0,077
2,5	0,076	0,069	0,097	0,8810	0,086
3	0,083	0,083	0,116	0,8812	0,094
3,5	0,089	0,094	0,132	0,8813	0,101
4	0,093	0,102	0,143	0,8814	0,106
4,5	0,099	0,116	0,163	0,8816	0,112
5	0,101	0,124	0,174	0,8817	0,115
5,5	0,104	0,14	0,196	0,8819	0,118
6	0,103	0,148	0,207	0,8820	0,117
6,5	0,1	0,162	0,227	0,8822	0,113

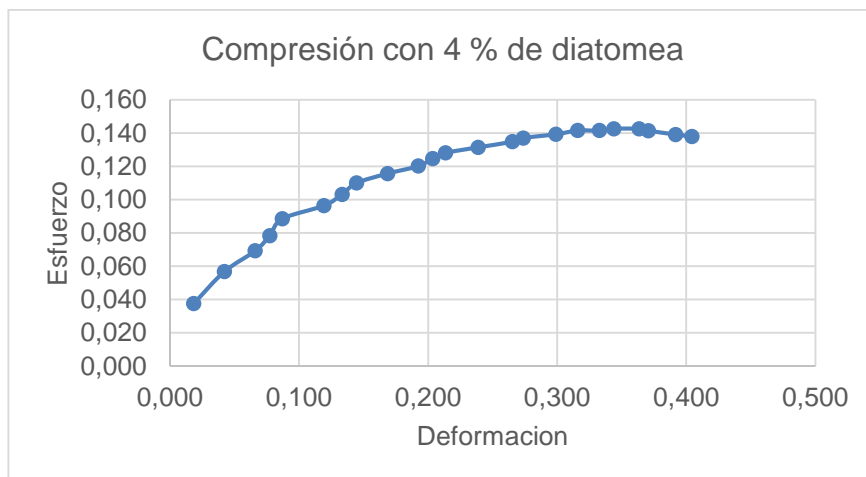
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

9. Bentonita con diatomea 4%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		871,619
Altura (mm)	71,24				
Diámetro (mm)	33,3		Área transversal (m2)		0,8716
Peso (g)	97,99				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,033	0,013	0,018	0,8803	0,037
1	0,05	0,03	0,042	0,8806	0,057
1,5	0,061	0,047	0,066	0,8808	0,069
2	0,069	0,055	0,077	0,8809	0,078
2,5	0,078	0,062	0,087	0,8810	0,089
3	0,085	0,085	0,119	0,8812	0,096
3,5	0,091	0,095	0,133	0,8814	0,103
4	0,097	0,103	0,145	0,8815	0,110
4,5	0,102	0,12	0,168	0,8817	0,116
5	0,106	0,137	0,192	0,8819	0,120
5,5	0,11	0,145	0,204	0,8820	0,125
6	0,113	0,152	0,213	0,8821	0,128
6,5	0,116	0,17	0,239	0,8823	0,131
7	0,119	0,189	0,265	0,8825	0,1348
7,5	0,121	0,195	0,274	0,8826	0,1371
8	0,123	0,213	0,299	0,8828	0,1393
8,5	0,125	0,225	0,316	0,8830	0,1416
9	0,125	0,237	0,333	0,8831	0,1415
9,5	0,126	0,245	0,344	0,8832	0,1427
10	0,126	0,259	0,364	0,8834	0,1426
10,5	0,125	0,264	0,371	0,8835	0,1415
11	0,123	0,279	0,392	0,8836	0,1392
11,5	0,122	0,288	0,404	0,8838	0,1380

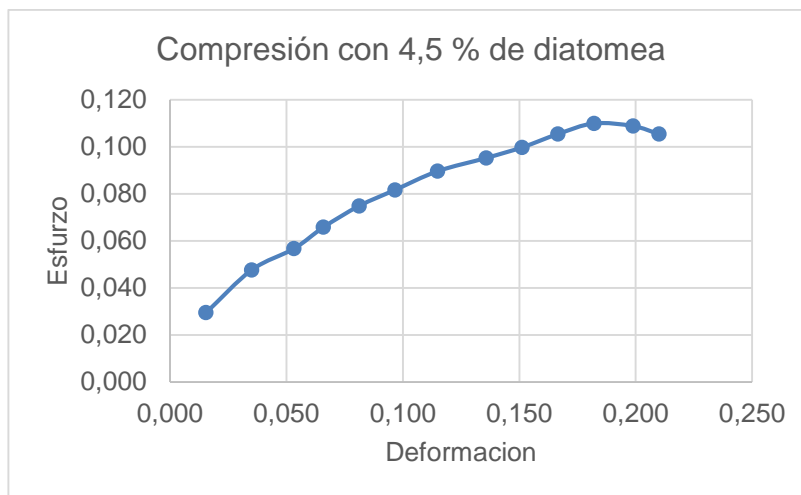
Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

10. Bentonita con diatomea 4,5%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		874,937
Altura (mm)	71,42		Área transversal (m2)		0,8749
Diámetro (mm)	33,41		Área transversal (m2)		0,8749
Peso (g)	96,35		Área transversal (m2)		0,8749
Tiempo (min)	Carga axial (kn)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,026	0,011	0,015	0,8803	0,030
1	0,042	0,025	0,035	0,8805	0,048
1,5	0,05	0,038	0,053	0,8807	0,057
2	0,058	0,047	0,066	0,8808	0,066
2,5	0,066	0,058	0,081	0,8809	0,075
3	0,072	0,069	0,097	0,8810	0,082
3,5	0,079	0,082	0,115	0,8812	0,090
4	0,084	0,097	0,136	0,8814	0,095
4,5	0,088	0,108	0,151	0,8815	0,100
5	0,093	0,119	0,167	0,8817	0,105
5,5	0,097	0,13	0,182	0,8818	0,110
6	0,096	0,142	0,199	0,8819	0,109
6,5	0,093	0,15	0,210	0,8820	0,105

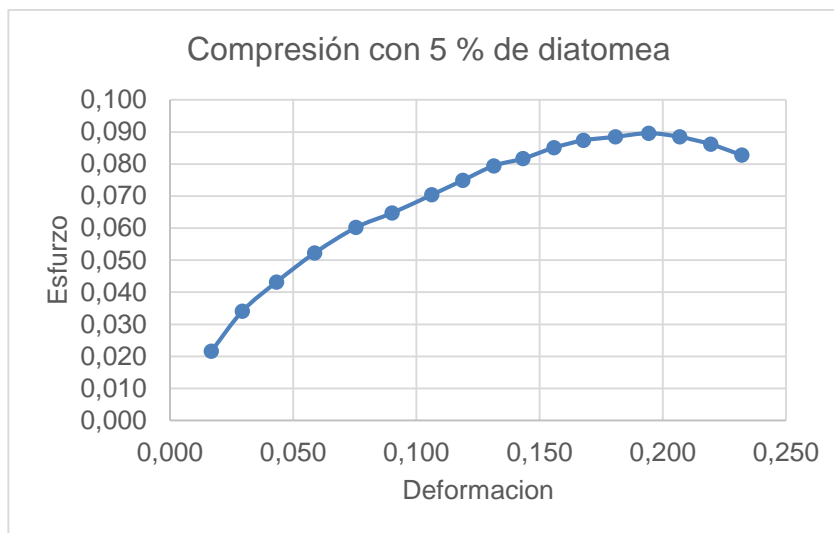
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

11. Bentonita con diatomea 5%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		880,889
Altura (mm)	71,53				
Diámetro (mm)	33,46		Área transversal (m2)		0,8808
Peso (g)	99,7				
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,019	0,012	0,017	0,8803	0,022
1	0,03	0,021	0,029	0,8804	0,034
1,5	0,038	0,0309	0,043	0,8806	0,043
2	0,046	0,042	0,059	0,8807	0,052
2,5	0,053	0,054	0,075	0,8809	0,060
3	0,057	0,0645	0,090	0,8810	0,065
3,5	0,062	0,076	0,106	0,8811	0,070
4	0,066	0,085	0,119	0,8812	0,075
4,5	0,07	0,094	0,131	0,8813	0,079
5	0,072	0,1025	0,143	0,8815	0,082
5,5	0,075	0,1115	0,156	0,8816	0,085
6	0,077	0,12	0,168	0,8817	0,087
6,5	0,078	0,1293	0,181	0,8818	0,088
7	0,079	0,139	0,194	0,8819	0,090
7,5	0,078	0,148	0,207	0,8820	0,088
8	0,076	0,157	0,219	0,8821	0,086
8,5	0,073	0,166	0,232	0,8822	0,083

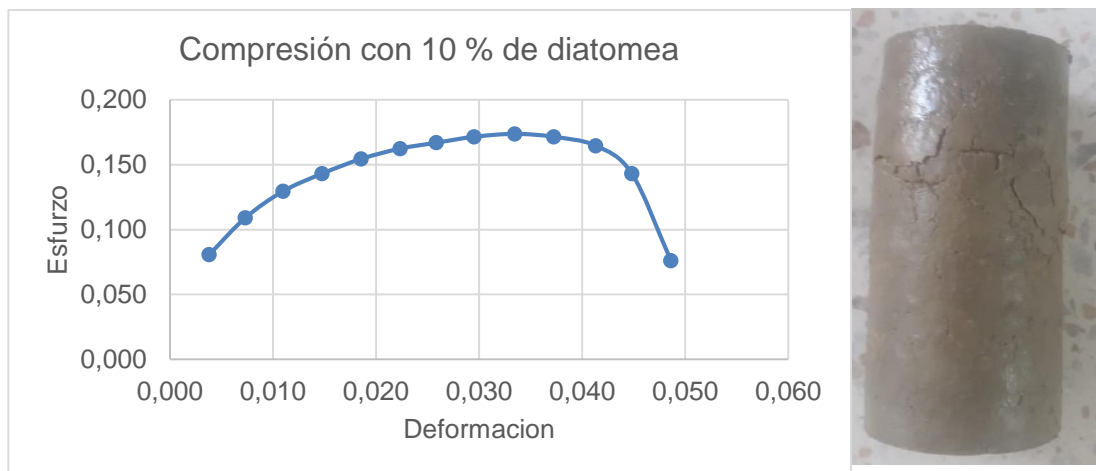
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

12. Bentonita con diatomea 10%					
Cilindro			Área transversal (mm2)		
Altura (mm)	71,19				869,876
Diámetro (mm)	33,14		Área transversal (m2)		
Peso (g)	98,78				0,8698
Tiempo (min)	Carga axial (kN)	Deformación total (mm)	Deformación unitaria e1 (%)	Área corregida (m2)	Esfuerzo (kpa)
0,5	0,071	0,0027	0,004	0,8802	0,081
1	0,096	0,0052	0,007	0,8803	0,109
1,5	0,114	0,0078	0,011	0,8803	0,130
2	0,126	0,0105	0,015	0,8803	0,143
2,5	0,136	0,0132	0,019	0,8804	0,154
3	0,143	0,0159	0,022	0,8804	0,162
3,5	0,147	0,0184	0,026	0,8804	0,167
4	0,151	0,021	0,029	0,8804	0,172
4,5	0,153	0,0238	0,033	0,8805	0,174
5	0,151	0,0265	0,037	0,8805	0,171
5,5	0,145	0,0294	0,041	0,8806	0,165
6	0,126	0,0319	0,045	0,8806	0,143
6,5	0,067	0,0346	0,049	0,8806	0,076

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 19 Dimensiones del anillo

Dimensiones del anillo	
Peso (g)	95,81
Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	25,01
Área (mm ²)	1963,5

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

Anexo 20 Datos ensayo corte directo

1. Bentonita con diatomea 0,5%			
Peso anillo + material (g)		171,87	
Peso platón (g)		66,3	
Peso platón +material (g)		156,2	
Peso platón + material seco (g)		113,6	
Tiempo (min)	Fs (kN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,000	0,000	0,002
1	0,022	0,232	0,100
1,5	0,028	0,468	0,115
2	0,031	0,707	0,121
2,5	0,037	0,957	0,260
3	0,040	1,208	0,389
3,5	0,033	1,456	0,479
4	0,021	1,714	0,525

Anexo 20. Datos corte directo (continuación)

4,5	0,014	1,975	0,553
5	0,015	2,223	0,569
5,5	0,016	2,481	0,574
6	0,017	2,743	0,576
6,5	0,019	2,995	0,581
7	0,022	3,252	0,588
7,5	0,025	3,517	0,599
8	0,027	3,770	0,615
8,5	0,028	4,027	0,633
9	0,028	4,280	0,656
9,5	0,028	4,532	0,682
10	0,029	4,772	0,708
10,5	0,029	5,013	0,736
11	0,030	5,252	0,763
11,5	0,030	5,487	0,790
12	0,031	5,723	0,818
12,5	0,031	5,971	0,848
13	0,031	6,221	0,877
13,5	0,032	6,478	0,906
14	0,032	6,730	0,935
14,5	0,032	6,983	0,963
15	0,032	7,227	0,989
15,5	0,032	7,477	1,016
16	0,032	7,729	1,042
16,5	0,033	7,981	1,067
17	0,033	8,232	1,090
17,5	0,033	8,486	1,114
18	0,033	8,744	1,136
18,5	0,034	8,996	1,159
19	0,034	9,248	1,181
19,5	0,034	9,503	1,203
20	0,034	9,747	1,223
20,5	0,034	9,985	1,243
21	0,034	10,229	1,263
21,5	0,034	10,470	1,283
22	0,034	10,709	1,302
22,5	0,034	10,954	1,318
23	0,034	11,207	1,334
23,5	0,034	11,465	1,351
24	0,034	11,719	1,364
24,5	0,034	11,971	1,380
25	0,034	12,214	1,395
25,5	0,034	12,460	1,409
26	0,034	12,715	1,424
26,5	0,033	12,961	1,439
27	0,034	13,151	1,446

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

2. Bentonita con diatomea 0,8%			
Peso anillo + material (g)		167,38	
Peso platón (g)		45,9	
Peso platón +material (g)		128,61	
Peso platón + material seco (g)		94,66	
Tiempo (min)	Fs (kN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,002	0,002	0,003
1	0,025	0,232	0,097
1,5	0,032	0,469	0,158
2	0,036	0,707	0,221
2,5	0,042	0,957	0,356
3	0,045	1,206	0,482
3,5	0,040	1,453	0,575
4	0,030	1,709	0,632
4,5	0,022	1,969	0,667
5	0,019	2,220	0,686
5,5	0,017	2,478	0,691
6	0,016	2,739	0,690
6,5	0,017	2,991	0,694
7	0,020	3,247	0,703
7,5	0,023	3,511	0,716
8	0,025	3,764	0,734
8,5	0,026	4,019	0,755
9	0,026	4,274	0,781
9,5	0,026	4,528	0,810
10	0,027	4,770	0,840
10,5	0,027	5,014	0,871
11	0,028	5,254	0,902
11,5	0,028	5,490	0,932
12	0,029	5,727	0,964
12,5	0,029	5,973	0,996
13	0,029	6,220	1,029
13,5	0,030	6,474	1,061
14	0,030	6,725	1,094
14,5	0,030	6,978	1,126
15	0,030	7,223	1,156
15,5	0,030	7,474	1,187
16	0,030	7,727	1,217
16,5	0,031	7,978	1,245
17	0,031	8,228	1,272
17,5	0,031	8,482	1,300
18	0,031	8,740	1,325
18,5	0,032	8,991	1,352
19	0,032	9,244	1,378
19,5	0,032	9,500	1,403
20	0,031	9,746	1,427
20,5	0,031	9,986	1,451
21	0,031	10,231	1,474

Anexo 20. Corte directo (Continuación)

21,5	0,031	10,472	1,497
22	0,032	10,711	1,518
22,5	0,032	10,956	1,537
23	0,032	11,206	1,554
23,5	0,032	11,461	1,572
24	0,032	11,714	1,586
24,5	0,032	11,967	1,605
25	0,031	12,212	1,622
25,5	0,031	12,459	1,639
26	0,031	12,715	1,656
26,5	0,031	12,960	1,674
27	0,032	13,136	1,680

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

3. Bentonita con diatomea 1%			
Peso anillo + material (g)		171,64	
Peso platón (g)		43,5	
Peso platón +material (g)		127,56	
Peso platón + material seco (g)		94,18	
Tiempo (min)	Fs (kN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,003	0,005	0,003
1	0,023	0,241	0,128
1,5	0,026	0,474	0,267
2	0,029	0,713	0,421
2,5	0,034	0,964	0,566
3	0,037	1,22	0,703
3,5	0,025	1,471	0,785
4	0,01	1,732	0,811
4,5	0,004	1,993	0,826
5	0,013	2,238	0,836
5,5	0,021	2,495	0,841
6	0,026	2,757	0,848
6,5	0,029	3,012	0,854
7	0,033	3,27	0,858
7,5	0,036	3,536	0,865
8	0,038	3,79	0,876
8,5	0,039	4,051	0,89
9	0,039	4,301	0,907
9,5	0,039	4,549	0,926
10	0,04	4,784	0,945
10,5	0,04	5,02	0,966
11	0,04	5,254	0,986
11,5	0,041	5,487	1,006

Anexo 20. Corte directo (continuación)

12	0,041	5,724	1,027
12,5	0,041	5,975	1,05
13	0,041	6,231	1,072
13,5	0,042	6,495	1,095
14	0,042	6,749	1,117
14,5	0,042	7,001	1,137
15	0,043	7,241	1,155
15,5	0,043	7,489	1,174
16	0,043	7,742	1,192
16,5	0,044	7,996	1,21
17	0,044	8,247	1,226
17,5	0,044	8,502	1,242
18	0,044	8,761	1,256
18,5	0,045	9,012	1,271
19	0,045	9,263	1,286
19,5	0,045	9,517	1,301
20	0,045	9,758	1,315
20,5	0,045	9,992	1,328
21	0,045	10,234	1,341
21,5	0,045	10,474	1,355
22	0,045	10,714	1,368
22,5	0,045	10,959	1,381
23	0,045	11,215	1,394
23,5	0,045	11,479	1,407
24	0,045	11,737	1,419
24,5	0,045	11,988	1,431
25	0,045	12,226	1,441
25,5	0,045	12,469	1,45
26	0,045	12,723	1,46
26,5	0,045	12,971	1,47
27	0,046	13,189	1,477

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

4. Bentonita con diatomea 1,5%			
Peso anillo + material (g)		173,29	
Peso platón (g)		63,5	
Peso platón +material (g)		151,67	
Peso platón + material seco (g)		109,32	
Tiempo (min)	Fs (kN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,004	0,003	0,004
1	0,028	0,231	0,094
1,5	0,037	0,470	0,201
2	0,041	0,708	0,321
2,5	0,047	0,957	0,453
3	0,051	1,205	0,575

3,5	0,047	1,449	0,672
4	0,039	1,704	0,739
4,5	0,030	1,964	0,780
5	0,023	2,216	0,803
5,5	0,018	2,475	0,808
6	0,016	2,736	0,805
6,5	0,015	2,987	0,808
7	0,019	3,242	0,818
7,5	0,021	3,506	0,833
8	0,023	3,758	0,853
8,5	0,024	4,011	0,877
9	0,024	4,267	0,906
9,5	0,024	4,524	0,938
10	0,025	4,769	0,972
10,5	0,026	5,015	1,006
11	0,026	5,257	1,041
11,5	0,027	5,494	1,074
12	0,027	5,731	1,109
12,5	0,027	5,975	1,145
13	0,028	6,220	1,181
13,5	0,028	6,469	1,217
14	0,028	6,719	1,254
14,5	0,028	6,973	1,289
15	0,029	7,220	1,324
15,5	0,029	7,472	1,359
16	0,029	7,725	1,392
16,5	0,029	7,975	1,424
17	0,029	8,224	1,455
17,5	0,029	8,479	1,486
18	0,029	8,735	1,515
18,5	0,030	8,987	1,546
19	0,030	9,240	1,575
19,5	0,030	9,498	1,604
20	0,029	9,744	1,632
20,5	0,029	9,986	1,659
21	0,029	10,232	1,685
21,5	0,029	10,474	1,712
22	0,030	10,712	1,735
22,5	0,030	10,957	1,755
23	0,030	11,206	1,775
23,5	0,030	11,458	1,794
24	0,030	11,709	1,809
24,5	0,030	11,963	1,830
25	0,029	12,210	1,849
25,5	0,029	12,458	1,869
26	0,029	12,715	1,889
26,5	0,029	12,960	1,909
27	0,029	13,121	1,915

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

5. Bentonita con diatomea 2%			
Peso anillo + material (g)		175,21	
Peso platon (g)		43,51	
Peso platon +material (g)		128,97	
Peso platon + material seco (g)		94,77	
Tiempo (min)	Fs (kn)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,004	0,001	0,005
1	0,033	0,221	0,059
1,5	0,047	0,465	0,134
2	0,052	0,703	0,221
2,5	0,059	0,95	0,34
3	0,064	1,189	0,447
3,5	0,069	1,427	0,559
4	0,068	1,676	0,666
4,5	0,056	1,935	0,734
5	0,033	2,194	0,769
5,5	0,02	2,455	0,774
6	0,01	2,715	0,761
6,5	0,004	2,961	0,761
7	0,004	3,213	0,778
7,5	0,006	3,475	0,801
8	0,007	3,725	0,83
8,5	0,008	3,971	0,863
9	0,009	4,233	0,904
9,5	0,009	4,498	0,949
10	0,01	4,753	0,998
10,5	0,011	5,009	1,046
11	0,012	5,26	1,095
11,5	0,012	5,501	1,142
12	0,013	5,737	1,191
12,5	0,013	5,974	1,24
13	0,014	6,208	1,29
13,5	0,014	6,443	1,338
14	0,014	6,689	1,39
14,5	0,014	6,945	1,441
15	0,014	7,199	1,492
15,5	0,014	7,455	1,543
16	0,014	7,707	1,591
16,5	0,014	7,953	1,637
17	0,014	8,201	1,683
17,5	0,014	8,455	1,729
18	0,014	8,709	1,774
18,5	0,014	8,962	1,821
19	0,014	9,217	1,864
19,5	0,014	9,478	1,907
20	0,013	9,73	1,948
20,5	0,013	9,98	1,989

Anexo 20. Corte directo (continuación)

21	0,013	10,23	2,029
21,5	0,013	10,474	2,068
22	0,014	10,71	2,102
22,5	0,014	10,955	2,129
23	0,015	11,197	2,155
23,5	0,014	11,437	2,181
24	0,014	11,681	2,198
24,5	0,014	11,937	2,228
25	0,013	12,194	2,256
25,5	0,013	12,447	2,287
26	0,013	12,706	2,317
26,5	0,012	12,948	2,347
27	0,012	13,052	2,352

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

6. Bentonita con diatomea 2,5%			
Peso anillo + material (g)		169,47	
Peso platón (g)		39,4	
Peso platón +material (g)		121,84	
Peso platón + material seco (g)		83,74	
Tiempo (min)	Fs (kn)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,00	0,00	0,00
1	0,03	0,22	0,03
1,5	0,04	0,46	0,09
2	0,05	0,70	0,16
2,5	0,06	0,95	0,24
3	0,06	1,19	0,33
3,5	0,06	1,42	0,43
4	0,07	1,67	0,53
4,5	0,06	1,93	0,61
5	0,04	2,18	0,65
5,5	0,03	2,44	0,68
6	0,02	2,70	0,70
6,5	0,02	2,95	0,73
7	0,02	3,20	0,76
7,5	0,01	3,46	0,80
8	0,01	3,71	0,84
8,5	0,01	3,96	0,88
9	0,01	4,22	0,93
9,5	0,01	4,48	0,98
10	0,01	4,74	1,04
10,5	0,01	5,00	1,09
11	0,01	5,25	1,15

Anexo 20. Corte directo (continuación)

11,5	0,01	5,50	1,20
12	0,01	5,73	1,25
12,5	0,01	5,96	1,30
13	0,01	6,20	1,35
13,5	0,01	6,44	1,40
14	0,01	6,68	1,46
14,5	0,01	6,94	1,51
15	0,01	7,19	1,56
15,5	0,01	7,46	1,61
16	0,01	7,71	1,67
16,5	0,01	7,96	1,71
17	0,01	8,20	1,76
17,5	0,01	8,45	1,80
18	0,01	8,70	1,85
18,5	0,01	8,96	1,90
19	0,01	9,21	1,94
19,5	0,01	9,47	1,98
20	0,01	9,72	2,02
20,5	0,01	9,98	2,06
21	0,01	10,22	2,10
21,5	0,01	10,47	2,14
22	0,01	10,71	2,17
22,5	0,01	10,90	2,20
23	0,01	11,20	2,23
23,5	0,01	11,44	2,26
24	0,01	11,68	2,29
24,5	0,01	11,93	2,32
25	0,01	12,19	2,34
25,5	0,01	12,45	2,37
26	0,01	12,70	2,40
26,5	0,01	12,95	2,43
27	0,01	13,13	2,45

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

7. Bentonita con diatomea 3%			
Peso anillo + material (g)		171,42	
Peso platón (g)		43,84	
Peso platón +material (g)		126,56	
Peso platón + material seco (g)		92,08	
Tiempo (min)	Fs (kn)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,002	0,001	0,001
1	0,024	0,215	0
1,5	0,034	0,455	0,047
2	0,042	0,696	0,091
2,5	0,051	0,941	0,136
3	0,055	1,181	0,213

Anexo 20. Corte directo (continuación)

3,5	0,059	1,418	0,298
4	0,063	1,661	0,393
4,5	0,059	1,919	0,481
5	0,049	2,175	0,54
5,5	0,043	2,43	0,594
6	0,035	2,689	0,642
6,5	0,03	2,94	0,69
7	0,026	3,186	0,74
7,5	0,023	3,444	0,793
8	0,018	3,7	0,847
8,5	0,014	3,951	0,902
9	0,011	4,206	0,958
9,5	0,008	4,469	1,017
10	0,006	4,732	1,077
10,5	0,005	4,986	1,136
11	0,004	5,243	1,196
11,5	0,003	5,491	1,254
12	0,002	5,722	1,309
12,5	0,002	5,952	1,36
13	0,001	6,197	1,416
13,5	0,001	6,438	1,47
14	0	6,68	1,524
14,5	0	6,929	1,577
15	0	7,19	1,632
15,5	0,001	7,456	1,686
16	0,001	7,712	1,74
16,5	0,001	7,958	1,788
17	0,002	8,194	1,833
17,5	0,002	8,443	1,878
18	0,003	8,698	1,924
18,5	0,003	8,95	1,969
19	0,003	9,205	2,013
19,5	0,004	9,458	2,055
20	0,004	9,713	2,097
20,5	0,004	9,971	2,139
21	0,004	10,217	2,177
21,5	0,005	10,469	2,214
22	0,005	10,711	2,247
22,5	0,005	10,952	2,279
23	0,005	11,195	2,31
23,5	0,006	11,437	2,342
24	0,006	11,677	2,372
24,5	0,006	11,925	2,403
25	0,007	12,184	2,431
25,5	0,007	12,45	2,46
26	0,007	12,702	2,487
26,5	0,008	12,957	2,513
27	0,008	13,2	2,538

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

8. Bentonita con diatomea 3,5%			
Peso anillo + material (g)		166,32	
Peso platon (g)		43,7	
Peso platon +material (g)		123,89	
Peso platon + material seco (g)		87,78	
Tiempo (min)	Fs (kN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,002	0,001	0,005
1	0,029	0,200	0,019
1,5	0,039	0,441	0,083
2	0,045	0,679	0,157
2,5	0,052	0,922	0,239
3	0,057	1,164	0,332
3,5	0,058	1,402	0,418
4	0,059	1,644	0,503
4,5	0,053	1,899	0,579
5	0,044	2,154	0,636
5,5	0,039	2,410	0,686
6	0,033	2,670	0,731
6,5	0,029	2,921	0,773
7	0,026	3,167	0,815
7,5	0,023	3,423	0,859
8	0,020	3,678	0,903
8,5	0,016	3,932	0,948
9	0,014	4,186	0,992
9,5	0,012	4,444	1,039
10	0,010	4,706	1,086
10,5	0,009	4,962	1,133
11	0,008	5,219	1,179
11,5	0,007	5,470	1,223
12	0,006	5,705	1,264
12,5	0,005	5,937	1,302
13	0,004	6,176	1,341
13,5	0,004	6,418	1,379
14	0,003	6,658	1,416
14,5	0,002	6,908	1,453
15	0,002	7,164	1,490
15,5	0,002	7,428	1,527
16	0,002	7,688	1,564
16,5	0,002	7,936	1,597
17	0,002	8,174	1,629
17,5	0,002	8,421	1,662
18	0,002	8,676	1,695
18,5	0,002	8,928	1,728
19	0,002	9,181	1,761
19,5	0,002	9,433	1,792
20	0,002	9,690	1,823
20,5	0,002	9,944	1,854

Anexo 20. Corte directo (continuación)

21	0,002	10,193	1,883
21,5	0,003	10,445	1,911
22	0,003	10,688	1,936
22,5	0,003	10,828	1,960
23	0,003	11,173	1,984
23,5	0,004	11,415	2,008
24	0,004	11,655	2,031
24,5	0,004	11,899	2,054
25	0,005	12,156	2,075
25,5	0,005	12,423	2,097
26	0,005	12,678	2,117
26,5	0,006	12,934	2,137
27	0,006	13,173	2,157

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

9. Bentonita con diatomea 4%			
Peso anillo + material (g)		169,36	
Peso platón (g)		70,96	
Peso platón +material (g)		153,26	
Peso platón + material seco (g)		118,26	
Tiempo (min)	Fs (kn)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,001	0	0,009
1	0,033	0,184	0,038
1,5	0,043	0,426	0,118
2	0,048	0,661	0,223
2,5	0,052	0,902	0,341
3	0,058	1,147	0,45
3,5	0,057	1,385	0,538
4	0,054	1,627	0,613
4,5	0,046	1,878	0,676
5	0,039	2,133	0,731
5,5	0,034	2,39	0,777
6	0,03	2,65	0,82
6,5	0,027	2,902	0,856
7	0,025	3,147	0,89
7,5	0,022	3,402	0,924
8	0,021	3,655	0,959
8,5	0,018	3,912	0,993
9	0,017	4,165	1,026
9,5	0,016	4,419	1,06
10	0,014	4,68	1,095
10,5	0,013	4,937	1,129
11	0,011	5,195	1,162

Anexo 20. Corte directo (continuación)

11,5	0,01	5,449	1,192
12	0,009	5,688	1,219
12,5	0,008	5,921	1,243
13	0,007	6,155	1,266
13,5	0,006	6,397	1,287
14	0,005	6,636	1,307
14,5	0,004	6,886	1,328
15	0,003	7,138	1,347
15,5	0,003	7,399	1,367
16	0,002	7,663	1,387
16,5	0,002	7,913	1,406
17	0,002	8,153	1,425
17,5	0,001	8,398	1,446
18	0,001	8,653	1,466
18,5	0,001	8,905	1,487
19	0,001	9,156	1,508
19,5	0	9,408	1,528
20	0	9,667	1,549
20,5	0	9,916	1,568
21	0	10,168	1,588
21,5	0	10,42	1,607
22	0	10,665	1,624
22,5	0,001	10,903	1,641
23	0,001	11,151	1,658
23,5	0,001	11,392	1,674
24	0,001	11,632	1,689
24,5	0,002	11,872	1,704
25	0,002	12,127	1,719
25,5	0,002	12,396	1,733
26	0,003	12,653	1,746
26,5	0,003	12,91	1,76
27	0,003	13,145	1,775

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

10. Bentonita con diatomea 4,5%			
Peso anillo + material (g)		172,13	
Peso platón (g)		67,3	
Peso platón +material (g)		152,98	
Peso platón + material seco (g)		113,45	
Tiempo (min)	Fs (kn)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,001	0,012	0,005
1	0,018	0,209	0,020
1,5	0,026	0,421	0,060
2	0,030	0,664	0,113
2,5	0,032	0,913	0,172

Anexo 20. Corte directo (continuación)

3	0,035	1,158	0,226
3,5	0,037	1,388	0,270
4	0,033	1,632	0,308
4,5	0,029	1,870	0,341
5	0,037	2,093	0,369
5,5	0,050	2,340	0,402
6	0,053	2,594	0,462
6,5	0,057	2,847	0,527
7	0,061	3,095	0,585
7,5	0,061	3,350	0,654
8	0,062	3,602	0,732
8,5	0,063	3,854	0,810
9	0,064	4,106	0,886
9,5	0,065	4,362	0,969
10	0,064	4,618	1,052
10,5	0,063	4,872	1,127
11	0,059	5,133	1,194
11,5	0,036	5,389	1,220
12	0,028	5,636	1,243
12,5	0,024	5,882	1,270
13	0,021	6,126	1,298
13,5	0,020	6,366	1,325
14	0,018	6,602	1,351
14,5	0,017	6,850	1,379
15	0,016	7,096	1,406
15,5	0,015	7,345	1,434
16	0,014	7,603	1,465
16,5	0,014	7,856	1,496
17	0,013	8,106	1,529
17,5	0,012	8,357	1,562
18	0,012	8,609	1,592
18,5	0,012	8,855	1,622
19	0,012	9,103	1,653
19,5	0,011	9,357	1,683
20	0,011	9,614	1,714
20,5	0,010	9,865	1,742
21	0,010	10,120	1,771
21,5	0,010	10,374	1,798
22	0,010	10,623	1,823
22,5	0,010	10,867	1,847
23	0,010	11,121	1,870
23,5	0,010	11,362	1,891
24	0,009	11,601	1,911
24,5	0,010	11,842	1,930
25	0,009	12,089	1,947
25,5	0,009	12,343	1,963
26	0,010	12,593	1,977
26,5	0,009	12,850	1,991
27	0,009	13,147	2,006

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

11. Bentonita con diatomea 5%			
Peso anillo + material (g)		173,36	
Peso platón (g)		41,9	
Peso platón +material (g)		125,47	
Peso platón + material seco (g)		91,37	
Tiempo (min)	Fs (KN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0	0,024	0,001
1	0,002	0,233	0,001
1,5	0,009	0,415	0,002
2	0,011	0,667	0,002
2,5	0,012	0,924	0,002
3	0,011	1,168	0,002
3,5	0,016	1,391	0,001
4	0,011	1,636	0,003
4,5	0,012	1,861	0,005
5	0,034	2,053	0,006
5,5	0,066	2,29	0,026
6	0,075	2,537	0,103
6,5	0,087	2,792	0,197
7	0,096	3,043	0,279
7,5	0,1	3,298	0,384
8	0,103	3,549	0,504
8,5	0,107	3,795	0,626
9	0,11	4,046	0,746
9,5	0,113	4,304	0,878
10	0,114	4,555	1,008
10,5	0,112	4,807	1,124
11	0,107	5,07	1,226
11,5	0,061	5,329	1,247
12	0,046	5,584	1,266
12,5	0,039	5,842	1,297
13	0,035	6,096	1,329
13,5	0,033	6,334	1,362
14	0,031	6,567	1,395
14,5	0,029	6,813	1,429
15	0,028	7,054	1,465
15,5	0,027	7,29	1,501
16	0,026	7,542	1,543
16,5	0,025	7,798	1,585
17	0,024	8,059	1,632
17,5	0,023	8,316	1,677
18	0,023	8,564	1,718
18,5	0,022	8,804	1,757
19	0,022	9,05	1,797
19,5	0,021	9,305	1,838
20	0,021	9,561	1,878
20,5	0,02	9,814	1,916
21	0,02	10,071	1,953
21,5	0,019	10,328	1,988

Anexo 20. Corte directo (continuación)

22	0,019	10,58	2,021
22,5	0,019	10,831	2,052
23	0,018	11,09	2,081
23,5	0,018	11,332	2,108
24	0,017	11,57	2,132
24,5	0,017	11,811	2,155
25	0,016	12,05	2,175
25,5	0,016	12,289	2,193
26	0,016	12,533	2,208
26,5	0,015	12,789	2,222
27	0,015	13,149	2,237

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

12. Bentonita con diatomea 10%			
Peso anillo + material (g)		168,39	
Peso platón (g)		43,56	
Peso platón +material (g)		126,7	
Peso platón + material seco (g)		89,2	
Tiempo (min)	Fs (KN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,012	0,014	0,007
1	0,017	0,244	0,011
1,5	0,020	0,463	0,024
2	0,021	0,714	0,035
2,5	0,020	0,964	0,045
3	0,019	1,207	0,053
3,5	0,020	1,438	0,062
4	0,017	1,679	0,073
4,5	0,017	1,911	0,083
5	0,028	2,129	0,094
5,5	0,043	2,374	0,115
6	0,047	2,627	0,164
6,5	0,053	2,882	0,221
7	0,057	3,133	0,273
7,5	0,059	3,382	0,335
8	0,060	3,631	0,405
8,5	0,062	3,881	0,476
9	0,063	4,135	0,545
9,5	0,065	4,390	0,621
10	0,065	4,644	0,694
10,5	0,064	4,901	0,761
11	0,061	5,159	0,820
11,5	0,038	5,414	0,839
12	0,031	5,666	0,857
12,5	0,027	5,921	0,880
13	0,025	6,164	0,903
13,5	0,024	6,403	0,927

Anexo 20. Corte directo (continuación)

14	0,023	6,642	0,951
14,5	0,022	6,882	0,975
15	0,021	7,125	1,000
15,5	0,020	7,369	1,025
16	0,020	7,626	1,052
16,5	0,019	7,883	1,079
17	0,018	8,143	1,108
17,5	0,018	8,393	1,135
18	0,018	8,638	1,160
18,5	0,017	8,882	1,184
19	0,017	9,133	1,209
19,5	0,016	9,385	1,234
20	0,016	9,641	1,258
20,5	0,016	9,901	1,282
21	0,015	10,157	1,305
21,5	0,015	10,413	1,327
22	0,015	10,667	1,348
22,5	0,015	10,916	1,368
23	0,014	11,168	1,387
23,5	0,014	11,404	1,404
24	0,014	11,641	1,420
24,5	0,014	11,881	1,435
25	0,013	12,121	1,449
25,5	0,013	12,368	1,461
26	0,013	12,623	1,473
26,5	0,012	12,882	1,484
27	0,012	13,184	1,495

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

13. Bentonita con diatomea 15%			
Peso anillo + material (g)		167,33	
Peso platón (g)		43,05	
Peso platón +material (g)		122,25	
Peso platón + material seco (g)		89,68	
Tiempo (min)	Fs (KN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,023	0,004	0,012
1	0,032	0,255	0,02
1,5	0,031	0,51	0,045
2	0,03	0,761	0,067
2,5	0,028	1,003	0,087
3	0,026	1,246	0,104
3,5	0,024	1,484	0,122
4	0,023	1,721	0,142
4,5	0,022	1,96	0,161
5	0,021	2,204	0,182
5,5	0,02	2,458	0,203

Anexo 20. Corte directo (continuación)

6	0,019	2,716	0,224
6,5	0,018	2,971	0,245
7	0,018	3,223	0,266
7,5	0,017	3,466	0,286
8	0,017	3,712	0,305
8,5	0,017	3,966	0,325
9	0,016	4,223	0,344
9,5	0,016	4,475	0,363
10	0,016	4,732	0,38
10,5	0,015	4,994	0,398
11	0,015	5,247	0,414
11,5	0,015	5,498	0,431
12	0,015	5,748	0,447
12,5	0,014	6	0,463
13	0,014	6,231	0,477
13,5	0,014	6,471	0,492
14	0,014	6,716	0,507
14,5	0,014	6,95	0,521
15	0,013	7,195	0,535
15,5	0,013	7,447	0,548
16	0,013	7,71	0,561
16,5	0,013	7,967	0,573
17	0,012	8,226	0,584
17,5	0,012	8,469	0,593
18	0,012	8,711	0,602
18,5	0,012	8,959	0,611
19	0,011	9,216	0,62
19,5	0,011	9,465	0,629
20	0,011	9,721	0,638
20,5	0,011	9,987	0,648
21	0,01	10,243	0,657
21,5	0,01	10,497	0,666
22	0,01	10,754	0,675
22,5	0,01	11,001	0,684
23	0,01	11,245	0,692
23,5	0,01	11,475	0,7
24	0,01	11,711	0,708
24,5	0,01	11,951	0,715
25	0,009	12,191	0,722
25,5	0,009	12,446	0,729
26	0,009	12,713	0,738
26,5	0,009	12,975	0,746
27	0,009	13,219	0,752

Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)

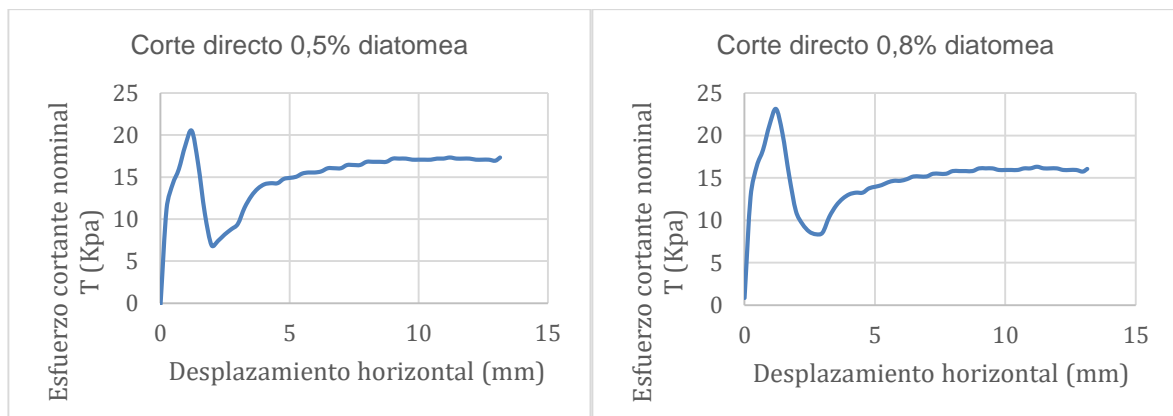
14. Bentonita sin adicion de diatomea			
Peso anillo + material (g)		175,59	
Peso platon (g)		66,62	
Peso platon +material (g)		153,7	
Peso platon + material seco (g)		120,36	
Tiempo (min)	Fs (KN)	Desplazamiento horizontal (mm)	Desplazamiento vertical (mm)
0,5	0,051	0,175	0,031
1	0,059	0,424	0,105
1,5	0,064	0,665	0,195
2	0,067	0,907	0,301
2,5	0,068	1,147	0,424
3	0,07	1,394	0,551
3,5	0,07	1,636	0,681
4	0,07	1,887	0,823
4,5	0,069	2,149	0,967
5	0,068	2,417	1,111
5,5	0,029	2,738	1,15
6	0,015	3,01	1,156
6,5	0,01	3,265	1,183
7	0,01	3,515	1,212
7,5	0,009	3,762	1,241
8	0,009	4,012	1,271
8,5	0,009	4,261	1,302
9	0,01	4,511	1,331
9,5	0,011	4,764	1,361
10	0,012	5,013	1,391
10,5	0,012	5,261	1,418
11	0,013	5,512	1,443
11,5	0,014	5,755	1,466
12	0,014	5,974	1,488
12,5	0,014	6,198	1,51
13	0,015	6,433	1,534
13,5	0,015	6,673	1,557
14	0,015	6,922	1,579
14,5	0,016	7,199	1,604
15	0,016	7,482	1,627
15,5	0,016	7,742	1,646
16	0,017	8	1,666
16,5	0,017	8,256	1,687
17	0,017	8,503	1,706
17,5	0,017	8,75	1,725
18	0,018	8,997	1,744
18,5	0,018	9,243	1,761
19	0,018	9,482	1,778
19,5	0,018	9,727	1,793

Anexo 20. Corte directo (continuación)

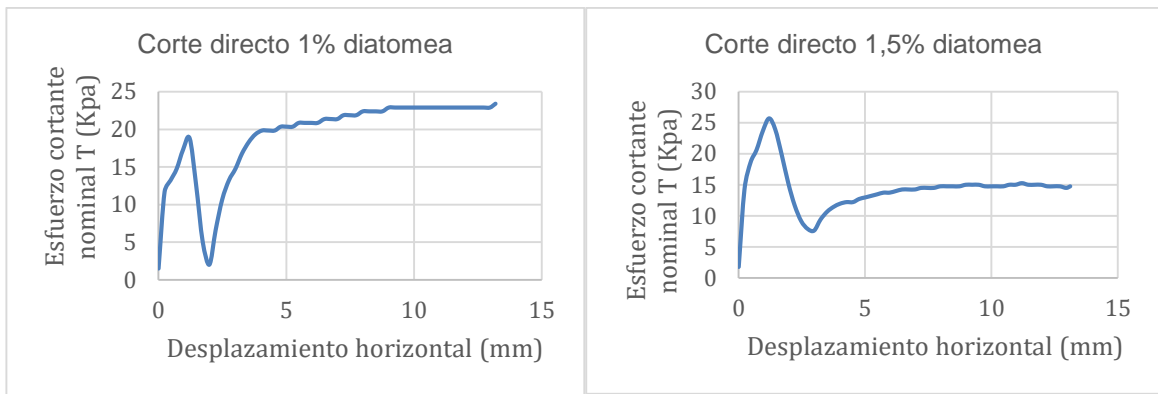
20	0,019	9,967	1,807
20,5	0,019	10,219	1,822
21	0,019	10,47	1,837
21,5	0,019	10,722	1,852
22	0,02	10,957	1,866
22,5	0,02	11,18	1,882
23	0,02	11,419	1,897
23,5	0,02	11,664	1,914
24	0,02	11,919	1,93
24,5	0,02	12,186	1,948
25	0,02	12,472	1,969
25,5	0,021	12,74	1,987
26	0,021	12,993	2,004
26,5	0,021	13,247	2,02
27	0,021	13,334	2,026

Fuente: (Leon & Mosquera, 2018)

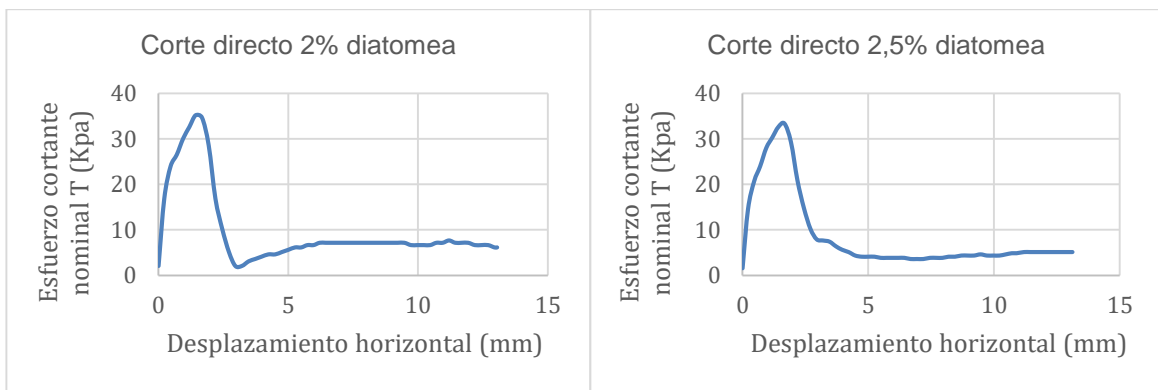
Anexo 21. Gráficas corte directo



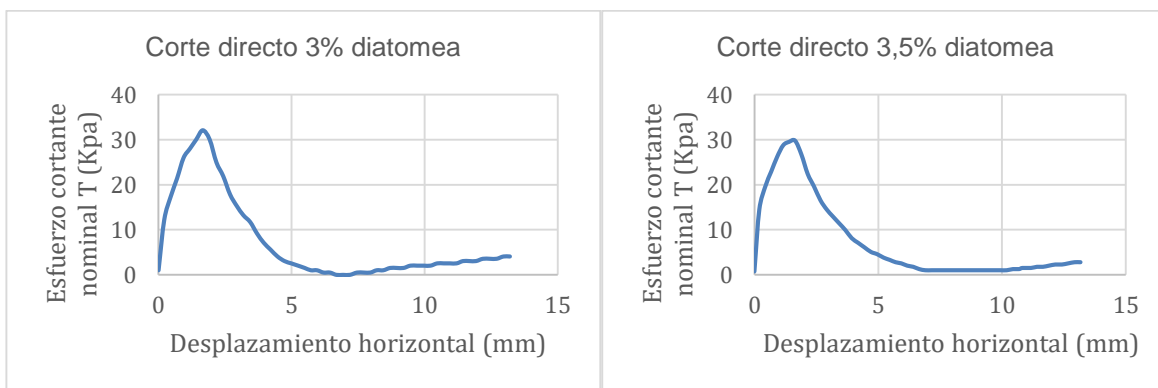
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



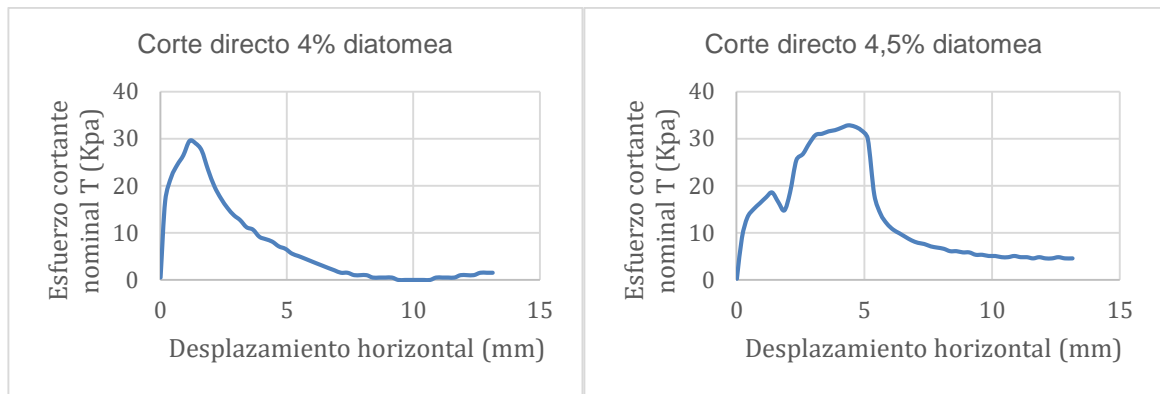
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



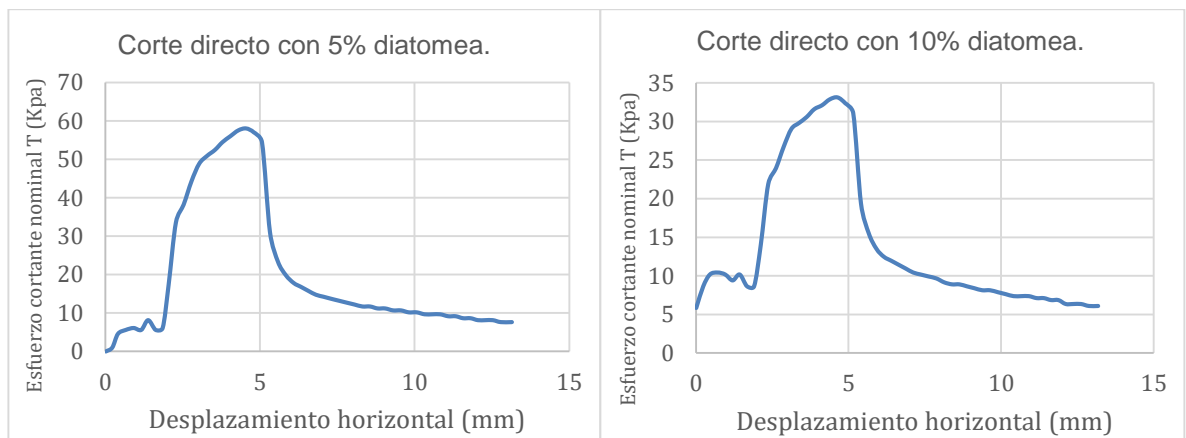
Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)



Fuente:(Leon & Mosquera, 2018)